

Agnieszka KLESZCZ
Wydz. Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
AGH, Akademia Górniczo-Hutnicza
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
agakleszcz87@gmail.com
Antoni P. BARBACKI
Zakład Energii Odnawialnej i Badań Środowiskowych
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN
ul. Wybickiego 7, 31-261 Kraków
barbacki@min-pan.krakow.pl

Technika Poszukiwań Geologicznych
Geotermia, Zrównoważony Rozwój nr 1/2012

ODNAWIALNOŚĆ I EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA POMP CIEPŁA W ŚWIETLE DYREKTYW UNII EUROPEJSKIEJ

STRESZCZENIE

Artykuł prezentuje wymogi zawarte w Dyrektywie Unijnej 2009/28/WE jakie powinny spełniać systemy pomp ciepła, aby efekt ich działania mógł być zaliczony do zagospodarowania energii odnawialnej. Dyrektywa wprowadza również prawny wymóg, aby instalacje z zastosowaniem pomp ciepła były energetycznie efektywne. Jedynie pompy spełniające ww. warunki zostaną uznane jako zagospodarowujące energię z zasobów odnawialnych, której wartość będzie uwzględniana przy obliczaniu udziału energii odnawialnej w całkowitej produkcji energii brutto. W tym kontekście omówiono niektóre zagadnienia dotyczące emisyjności oraz ekonomiki eksploatacji pomp ciepła. Generalnym wnioskiem wynikającym z przedstawionych rozważań jest to, że zarówno stopień odnawialności, emisyjności jak i ekonomiki stosowania pomp ciepła jest ściśle związany z odpowiednio wysoką wartością współczynnika efektywności energetycznej COP, zależnego od warunków klimatycznych i zastosowanego źródła dolnego, jak również od współczynnika sprawności konwersji energii pierwotnej na energię elektryczną.

SŁOWA KLUCZOWE

Pompy ciepła, dyrektywa UE, energia odnawialna

* * *

WPROWADZENIE

Pompy ciepła znajdują w życiu codziennym coraz szersze zastosowanie jednak wciąż kontrowersje budzi to, czy efekt ich działania pozwala zaliczyć go do wykorzystania energii odnawialnej. Wynika to z faktu, że istotna część uzyskiwanego ciepła jest wynikiem użytej

napędowej energii elektrycznej, której pozyskanie wiąże się ze spalaniem określonej ilości paliw konwencjonalnych (w naszym kraju głównie węgla).

Program unijny „3 x 20” z marca 2007 roku dotyczący osiągnięcia 20% udziału energii ze źródeł odnawialnych w całkowitej produkcji energii brutto do roku 2020, nakłada na kraje członkowskie określone zobowiązania (wymóg dla Polski to 15%). Dotyczą one m.in. promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych, ale również monitorowania i obliczania końcowego zużycia tej energii w celu oceny jej udziału w końcowym zużyciu energii brutto ze wszystkich źródeł. Wprowadzona w kwietniu 2009 roku Dyrektywa Unijna 2009/28/WE potwierdza wcześniej przyjęty program „3 x 20” i wskazuje m.in. na konieczność wprowadzenia przejrzystych zasad obliczania udziału energii odnawialnej i definiowania takich źródeł (Dz.Urz. UE 2009).

Istotna część zapisów Dyrektywy odnosi się do pomp ciepła jako urządzeń wykorzystujących częściowo zasoby odnawialne. Dyrektywa słusznie wskazuje, że w przypadku pomp ciepła kwalifikowana do obliczeń produkcja energii odnawialnej to wyłącznie energia pobrana przez nie z otoczenia, lecz nawet wówczas pod pewnymi warunkami.

Poniżej poddano analizie unijną propozycję zasad obliczania udziału energii odnawialnej dla pomp ciepła i na tym tle naszkicowano niektóre problemy związane z efektywnością energetyczną, emisyjnością i ekonomią stosowania tych urządzeń w warunkach krajowych.

1. EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA POMP CIEPŁA WEDŁUG DYREKTYWY UE

Realizując termodynamiczny obieg Lindego pompa ciepła pobiera z sieci energię elektryczną w celu sprężenia czynnika roboczego, który wcześniej uległ przemianie w stan gazowy pobierając energię ze źródła odnawialnego (grunt, woda, powietrze). Energia dostarczona ze źródła odnawialnego (tzw. źródła dolnego) jest zwykle znacznie większa niż pobrana energia elektryczna, przez co pompa produkuje rocznie około 3,5 razy więcej energii cieplnej aniżeli pobieranej z sieci energii napędowej.

Współczynnik efektywności energetycznej (wydajności grzejnej) pompy COP (*coefficient of performance*) jako stosunek wytworzonej energii cieplnej (Q_{usable}) do elektrycznej energii napędowej (L) nie jest jednak dla danej pompy parametrem stałym i jego wartość zmienia się w zależności od pory roku i rodzaju zastosowanego źródła energii odnawialnej – orientacyjnie w granicach od 2,5 do 5,0.

Biorąc pod uwagę sprawność konwersji energii chemicznej węgla na energię elektryczną, która w warunkach krajowych wynosi około 0,33 – trzykrotnie więcej energii pierwotnej (energii chemicznej węgla) wymagane jest dla wyprodukowania napędowej energii elektrycznej (L) jaką pobiera pompa. Jeśli więc uwzględnimy w rachunku energetycznym producenta energii elektrycznej, a współczynnik efektywności pompy będzie $COP < 3,0$ – jej efektywność energetyczna staje się problematyczna; wielkość zużytej energii pierwotnej zbliża się wówczas do wartości energii uzyskanej z pompy, co oznacza że

spalając sam węgiel uzyskalibyśmy podobną wartość energii cieplnej (pomijając sprawność zastosowanego kotła węglowego).

Dlatego też omawiana Dyrektywa w kontekście kwalifikowania energii z pomp ciepła w obszar odnawialności zastrzega *aby uwzględniać jedynie pompy ciepła, których wydajność energetyczna znacząco przekracza pierwotną energię potrzebną do ich zasilania*. Nie jest to ściśle określenie, gdyż oznacza jedynie, że średnioroczny współczynnik COP w polskich warunkach konwersji powinien być większy niż 3.0. Wynika to z prostego, następującego schematu przepływu energii dla pompy ciepła:

$$3L \rightarrow L \rightarrow \underbrace{\text{COP(SPF)}}_{\text{pompa ciepła}} \rightarrow Q_{\text{usable}} = \text{COP} \cdot L \quad (1)$$

gdzie:

- L – energia napędowa dostarczona z sieci energetycznej,
- 3L – energia pierwotna (chemiczna węgla) wymagana dla wytworzenia energii napędowej L przy założonej w warunkach krajowych sprawności konwersji $\sim 0,33$,
- COP – współczynnik efektywności cieplnej pompy ciepła (w Dyrektywie oznaczony jako SPF), traktowany jako sezonowy – średnioroczny współczynnik, zależny od warunków klimatycznych i rozwiązań technologicznych,
- $Q_{\text{usable}} = \text{COP} \cdot L$ – energia uzyskana z pompy ciepła.

Postulowany w Dyrektywie warunek efektywności pracy pompy dla warunków krajowych byłby więc:

$$3L < Q_{\text{usable}} = \text{COP} \cdot L \quad (2)$$

co oznacza, że: $\text{COP} > 3,0$

Przy takim COP pompa produkuje więcej energii niż konsumuje w formie energii pierwotnej (tu: energii chemicznej węgla). W kolejnym zapisie pojawia się jednak warunek, że nie wszystkie pompy efektywne energetycznie będą uwzględniane podczas obliczania wielkości wyprodukowanej energii odnawialnej, a jedynie te, które spełniają warunek:

$$\text{COP} > 1,15 \cdot 1/\eta \quad (3)$$

gdzie:

- η – sprawność konwersji energii pierwotnej paliw kopalnych na energię elektryczną. W warunkach krajowych przyjmuje się jego wartość jako 0,33, ale np. w Niemczech, gdzie rozbudowana jest energetyka wiatrowa – 0,37. Stąd do 01.01.2013 roku proponuje się ustalenie wspólnej dla krajów UE jego wartości uśrednionej.

Średnioroczny współczynnik efektywności COP oznaczany w Dyrektywie jako SPF obliczany byłby według formuły: $SPF = Q_{usable\ roczne} / L_{roczne} + \text{poprawki na zróżnicowanie klimatyczne}$.

Dyskutowane obecnie poprawki klimatyczne mają na celu uwzględnienie trudności uzyskiwania wysokich wartości SPF w krajach „zimnych”, jak np. w Skandynawii.

Obecnie, w warunkach krajowych (według 3), jedynie pompy o $COP > 3,45$ byłyby traktowane jako zagospodarowujące odnawialne zasoby energii. Eliminowałoby to więc automatycznie pompy typu powietrze–woda ($COP: 2,5 - 2,7$). Sytuacja ulega jednak ciągłym zmianom wskutek wzrostu wartości η wraz z wprowadzaniem odnawialnych źródeł energii.

Wspomniany, zakładany dla wszystkich krajów Unii współczynnik uśredniony będzie przypuszczalnie wyższy od krajowego, co da możliwość włączenia do obliczanej produkcji energii odnawialnej znaczącego udziału energii z pomp ciepła. Wkład ten, w aspekcie zobowiązań energetycznych Polski wobec UE uzasadnia zatem sens promowania i wspierania tej technologii podobnie jak to ma miejsce w przypadku energetyki słonecznej.

Przepisując dla przyjętych warunków krajowych wyrażenie (3) w postaci: $COP > 1,15 \cdot 3$ i mnożąc nierówność przez L otrzymujemy:

$$L \cdot COP > 1,15 \cdot 3L \quad (4)$$

czyli:

$$Q_{usable} > 1,15 \cdot 3L$$

Wynika stąd, że efekt działania krajowych sprężarkowych pomp ciepła byłby zaliczany do zagospodarowania energii odnawialnej tylko wówczas, jeśli roczna energia uzyskana z pompy (Q_{usable}) byłaby przynajmniej o 15% większa niż wykorzystana energia pierwotna ($3L$).

Odnosi się to nie tylko do wartości $\eta = 0,33$ czyli warunków krajowych, albowiem niezależnie od wartości η , wielkość „na prawo” od czynnika 1,15 w wyrażeniu (4) zawsze reprezentuje wartość energii pierwotnej.

Należy zaznaczyć, że ww. Dyrektywa nie uwzględnia w obecnym kształcie zagadnień dotyczących stosowania *absorpcyjnych pomp ciepła*, które wykorzystują do napędu energię cieplną gazu. Jeśli jednak przyjąć przedstawione w Dyrektywie dla pomp sprężarkowych kryteria efektywności i odnawialności, to pompy te byłyby uznane jako zagospodarowujące energię odnawialną jeśli $COP > 1,27$ (przyjmując sprawność napędowego kotła gazowego około 0,9 i ww. 15% nadwyżkę uzyskanej energii cieplnej nad energią chemiczną gazu). Niska wartość COP wynika z termodynamicznej charakterystyki pompy absorpcyjnej, lecz wysoki współczynnik konwersji energii chemicznej gazu w energię cieplną (w wyrażeniu (3) należałoby przyjąć $\eta = 0,9$ jako sprawność kotła gazowego) umożliwia uzyskanie pozytywnego efektu energetycznego.

Wielkość udziału energii odnawialnej w pompach ciepła uwzględniana podczas łącznej oceny energii produkowanej ze źródeł odnawialnych Q_{odn} może być obliczana według formuły zawartej w Dyrektywie i wynikającej z prostego wyprowadzenia:

$$Q_{\text{odn}} = Q_{\text{usable}} - L = Q_{\text{usable}} - Q_{\text{usable}} / \text{COP} = Q_{\text{usable}} (1 - 1 / \text{COP}) \quad (5)$$

gdzie:

$Q_{\text{usable}} = Q_{\text{odn}} + L$ – średnioroczna wartość wyprodukowanej energii cieplnej (wg wartości mierzonych).

Przyjęcie 15% nadwyżki energii uzyskanej w stosunku do pierwotnej jako warunku kwalifikowania pompy ciepła jako urządzenia efektywnego energetycznie i wykorzystującego energię odnawialną jest zabiegiem arbitralnym, nie mającym uzasadnienia fizycznego.

W analizach energetycznych dla oceny efektywności energetycznej pomp ciepła stosuje się bardziej racjonalne podejście. Zakłada się, że praca pompy jest efektywna energetycznie, gdy pobrana energia pierwotna jest mniejsza niż w przyjętym, porównawczym systemie ciepłowniczym przy produkcji tej samej wielkości energii (Kubski 2009). Ze względu na podobne koszty eksploatacji i poziom emisji jako system porównawczy i jednocześnie alternatywny dla pomp ciepła, przyjmowany jest zwykle system grzewczy oparty na gazie ziemnym. Porównuje się wówczas nie relacje pomiędzy energią pierwotną i uzyskaną, ale relacje pomiędzy energią pierwotną zużytą w obu porównywanych systemach przy produkcji tej samej wartości energii (Rozp. Min. Inf. 2008).

2. EMISJA CO₂ PRZY UŻYCIU POMP CIEPŁA WOBEC EMISJI INSTALACJI GAZOWEJ

Z punktu widzenia lokalnego użytkownika sprężarkowa pompa ciepła jest bezemisyjna, natomiast w perspektywie regionalnej sytuacja jest odmienna.

Użytkowanie pomp ciepła związane jest bowiem z wykorzystaniem napędowej energii elektrycznej, która w warunkach krajowych produkowana jest głównie z węgla.

Porównując emisję zanieczyszczeń do powietrza z pomp ciepła do emisji z indywidualnych kotłów gazowych należy rozpatrywać wartości emisji dla określonego rodzaju zanieczyszczenia. Przykładowo, w aspekcie emisji CO₂ przyjmuje się, że podczas wytworzenia jednostki ciepła w standardowych kotłach gazowych emisja CO₂ jest około 0,6 razy mniejsza niż emisja z kotłów węglowych (Pajak 2007). Jeśli do produkcji wartości energii ($L \cdot \text{COP}$) pompa ciepła zużywa energię pierwotną o wartości $3L$ (energia chemiczna węgla), to standardowy domowy kocioł gazowy zużywa energię $(L \cdot \text{COP})/0,87$ jako energię chemiczną gazu. Zakładając, że jednostkowa emisja CO₂ kotła gazowego stanowi masowo 0,6 wielkości emisji ze spalania węgla, pompa ciepła będzie emitować mniejszą ilość CO₂ jeśli będzie spełniony warunek:

$$3L / [0,6(L \cdot \text{COP}) / 0,87] < 1 \quad (6)$$

czyli:

$$\text{COP} > 4,35$$

Uzyskanie takiej średniorocznej wartości COP w polskich warunkach klimatycznych jest trudne, stąd – pomimo, że w skali lokalnego użytkownika pompa ciepła wydaje się urządzeniem bezemisyjnym – rozpatrując zagadnienie w skali regionalnej, w aspekcie emisji CO₂ – gaz ziemny jest zwykle źródłem czystszy.

3. EKONOMIKA EKSPLOATACJI POMP CIEPŁA

Przedstawione uwagi dotyczą jedynie oceny *kosztów eksploatacji* pomp ciepła, z pominięciem kosztów inwestycyjnych – zawsze wyższych w porównaniu do urządzeń wykorzystujących konwencjonalne źródła energii. Natomiast koszty eksploatacji pomp ciepła są wyższe niż koszty eksploatacji w systemach opartych na węglu i miale węglowym, a jednocześnie znacznie niższe niż w systemach wykorzystujących olej opałowy czy energię elektryczną.

Jedynie w przypadku instalacji opartych na gazie ziemnym koszty wykazują wartości porównywalne, dlatego analizując opłacalność ekonomiczną stosowania pomp ciepła np. przez indywidualnego użytkownika, za system alternatywny przyjmuje się często system gazowy.

Pompa ciepła wytwarzając energię o wartości $Q_{\text{usable}} = \text{COP} \cdot L$ pobiera z sieci energię o wartości L . Wytworzenie tej samej wartości energii w kotle gazowym o sprawności η^g , wymaga zużycia energii chemicznej gazu o wartości $(\text{COP} \cdot L) / \eta^g$. Oznaczając cenę energii elektrycznej jako K^e i cenę energii z gazu jako K^g , koszt wytworzonej energii Q_{usable} w pompie ciepła wynosi: $L \cdot K^e$, natomiast w instalacji gazowej $(\text{COP} \cdot L) \cdot K^g / \eta^g$. Pompa ciepła jest zatem bardziej ekonomiczna od ogrzewania gazowego, gdy:

$$L \cdot K^e / (\text{COP} \cdot L \cdot K^g / \eta^g) < 1 \quad (7)$$

czyli gdy:

$$\text{COP} > (K^e / K^g) \eta^g \quad (8)$$

Z warunku (8) wynika, że na opłacalność stosowania pomp ciepła w relacji do gazu ma wpływ nie tylko wartość COP, ale również relacja pomiędzy ceną energii elektrycznej i „gazowej” oraz sprawność kotła gazowego. Przykładowo, dla stosowanych w kraju detalicznych cen energii elektrycznej i gazowej wynoszących około $K^e = 0,55 \text{ PLN} / \text{kWh}$ i $K^g =$

0,2 PLN / kWh (dane 2011 r) oraz dla sprawności kotła gazowego $\eta^g = 0,87$, pompa ciepła będzie bardziej ekonomiczna niż ogrzewanie gazowe gdy $COP > 2,4$.

Np. dla $COP = 3,0$ po podstawieniu wartości do lewej strony wyrażenia (7) otrzymujemy, że koszty eksploatacyjne pompy ciepła będą stanowiły około 80% kosztów ogrzewania gazowego.

W przypadku dostępu do dwutaryfowego rozliczania energii elektrycznej (taryfa nocna i dzienna) ekonomika stosowania pompy ciepła znacznie wzrasta (spadek K^e) i koszty ogrzewania mogą być zbliżone nawet do kosztów ogrzewania węglowego.

PODSUMOWANIE

Omawiana Dyrektywa unijna, pomimo iż wymaga jeszcze dopracowania szczegółów, po raz pierwszy wprowadziła prawny wymóg, aby instalacje z zastosowaniem pomp ciepła były energetycznie efektywne. Podaje także podstawowe kryterium, przy spełnieniu którego efekt działania sprężarkowej pompy ciepła pozwala zaliczyć do zagospodarowania energii z zasobów odnawialnych, a więc takich, które mogą być uwzględniane przy ocenie udziału energii odnawialnej w całkowitej produkcji energii brutto (dla Polski 15 % w 2020 r).

Przedstawiono również rozważania dotyczące niektórych zagadnień emisyjności oraz ekonomiki pracy pomp ciepła. Mają one charakter orientacyjny, gdyż nie uwzględniają szeregu czynników związanych z pracą rzeczywistych systemów ciepłowniczych opartych na pompach ciepła (np. poboru energii elektrycznej przez pompy obiegowe i aparaturę kontrolno-pomiarową czy też taryfowej zmienności cen energii elektrycznej i gazu uzależnionej od parametrów odbiorcy).

Generalnym wnioskiem wynikającym z przedstawionych rozważań jest to, że zarówno aspekt dotyczący odnawialności, emisyjności jak i ekonomiki stosowania pomp ciepła jest ściśle związany ze średnioroczną wartością współczynnika efektywności energetycznej COP (SPF) oraz wartością przyjętego współczynnika sprawności konwersji energii pierwotnej η na elektryczną.

Pompa ciepła w okresie sezonu grzewczego wykazuje różne wartości COP w zależności od warunków pogodowych. Najwyższe wartości występują w czasie wiosny i jesieni, najniższe w okresie zimowym. Wynika to z termodynamicznej charakterystyki pompy ciepła, gdzie wartość COP rośnie wraz z obniżaniem temperatury na wyjściu oraz przy wysokich temperaturach źródła dolnego (np. w przypadku stosowania wód termalnych). Obniżenie temperatur wyjściowych uzyskiwanych z pompy ciepła również podnosi wartość COP. Ogrzewanie niskotemperaturowe wymaga jednak zastosowania w ogrzewanych obiektach odpowiedniej izolacji termicznej, bądź ogrzewania podłogowego i/lub ściennego, gdzie do celów grzewczych już temperatury $\sim 35^\circ\text{C}$ są wystarczające.

Pomimo, iż korzyści wynikające ze stosowania pomp ciepła są uzależnione od szeregu czynników, a głównie od zapewnienia wysokiej wartości COP (SPF), ich podstawowe zalety w stosunku do ogrzewania gazowego wynikają głównie z bezpiecznej eksploatacji (brak lokalnej emisji, zagrożenia wybuchowego i wydzielania toksycznego CO), niezależności od

fluktuacji cen i dostaw gazu, niskich kosztów eksploatacji (szczególnie przy systemie dwutaryfowym) oraz z faktu, że stanowią alternatywę ciepłowniczą dla terenów gdzie brak jest sieci gazowej.

LITERATURA

- Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 140/16 PL, 05 czerwca 2009, Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dn.23 kwietnia 2009 w sprawie promowania energii ze źródeł odnawialnych.
- KUBSKI P., 2009 — Uwarunkowania efektywności energetycznej stosowania pomp grzejnych zawarte w dyrektywie w sprawie promocji odnawialnych źródeł energii. II Ogólnopolski Kongres Geotermalny. Bukowina Tatrzańska 23–25 września 2009.
- PAJAŁ L., 2007 — Wybrane zagadnienia dotyczące pozyskania ciepła z pierwotnych nośników biomasy. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja nr 3 (marzec) Wyd. Sigma-NOT, Kraków.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dn. 06 listopada 2008 r w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej. (Dz.U. 2008, nr 201, poz. 1240).

HEAT PUMPS – ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABILITY IN REFERRING TO THE EUROPEAN UNION DIRECTIVE

ABSTRACT

The article presents the requirements contained in the European Union Directive 2009/28/WE for the systems such as heat pumps to be able to classify their effect as the management of renewable energy. The Directive also introduces a legal requirement that the installations with heat pumps are energy efficient. Only pumps fulfilling the mentioned above conditions shall be regarded as using energy from renewable resources the value of which will be considered at calculating the contribution of renewable energy in the total gross energy production.

In this context also the speculations concerning the issues of renewability, emission and economics during the exploitation of heat pumps were presented.

The general conclusion from the presented speculations is that both the level of renewability, emission and economics of the application of heat pumps are strictly connected with the high value of the coefficient of performance (COP), depending on climatic conditions and the applied low temperature source and with the value of the efficiency of the conversion of primary energy into electric energy.

KEY WORDS

Heat pumps, EU directive, renewable energy