

Kazimierz Brodowicz

Instytut Techniki Ciepłej  
Politechniki Warszawskiej

## ANALIZA UWARUNKOWAŃ STOSOWANIA POMP CIEPŁA W KRAJU

Podjęcie decyzji o celowości stosowania pomp ciepła wymaga poza analizą ekonomiczną pewnych dodatkowych informacji.

W pracy przedstawiono szereg przypadków występujących w technice, w których użycie pomp ciepła może być szczególnie korzystne. Dla tych przypadków zaproponowano zastosowanie odpowiednich typów pomp ciepła. Dokonano tego w oparciu o dane literaturowe, a także na podstawie znajomości uwarunkowań krajowych.

Sorpcyjne pompy ciepła wydają się szczególnie korzystne do zastosowania w kraju.

Jak wiadomo, pompa ciepła znana jest od wieku, a od pół wieku była sporadycznie instalowana. Niskie ceny surowców energetycznych, a szczególnie ropy naftowej, utrzymujące się przez znaczny okres po drugiej wojnie światowej nie sprzyjały oszczędzaniu energii. Tymczasem pompa ciepła stanowi pod tym względem znakomite, a w pewnym sensie i niezastąpione urządzenie. Nie znaczy to, że pompami ciepła w ogóle się nie interesowano. I tak w końcu lat siedemdziesiątych w Stanach Zjednoczonych było ich około 850 tys. a w Europie Zachodniej 10 tys. Szczytowe zainteresowanie, a w pewnym sensie i moda na pompy ciepła szczególnie w Europie Zachodniej, wystąpiło na przełomie lat 80/81. W następnych latach znacznie się ono zmniejszyło w wyniku kilkunastoprocentowego spadku cen ropy naftowej. Należy tu wyjaśnić, że przeważająca większość pomp ciepła, o których wyżej mowa, służy do ogrzewania domów jednorod-

dzinnych i ma stosunkowo małe moce, kilka do kilkunastu kilowatów na poziomie źródła górnego. Większość z nich to urządzenia sprężarkowe z elektrycznym napędem, pobierające ciepło z powietrza atmosferycznego, a więc najbardziej dostępnego źródła dla pompy ciepła ogrzewającej wolno stojący dom jednorodzinny. Znaczna liczba pomp ciepła działająca w Stanach Zjednoczonych zimą ogrzewa pomieszczenia, latem je chłodzi.

Widać z tego, że omawiane wyżej pompy ciepła znakomicie pasują do warunków występujących w Stanach Zjednoczonych. Zarówno klimatycznych i urbanistycznych jak i wynikających z faktu, że pompy ciepła konkurują tam z ogrzewaniem elektrycznym. Jeżeli chodzi o warunki klimatyczne to izoterma stycznia na przeważającej części terytorium wynosi tam  $+10^{\circ}\text{C}$ , co umożliwia uzyskanie korzystnego współczynnika efektywności pompy ciepła, natomiast latem występują potrzeby klimatyzacji, do czego również można wykorzystać instalację pompy ciepła. Urbanizację charakteryzuje rozproszona zabudowa, która wymaga indywidualnego ogrzewania (i klimatyzacji) każdego domu. Natomiast konkurencja w stosunku do ogrzewania elektrycznego jest bardzo spektakularna, gdyż jak wiadomo pompa ciepła uwielokrotnia na poziomie źródła górnego energię zużytą do jej napędu. Stąd takie szerokie zastosowanie pomp ciepła w Stanach Zjednoczonych.

Tymczasem do warunków Europy Zachodniej, mimo że i tam podobna jest urbanizacja i stosowane jest ogrzewanie elektryczne, z uwagi na niższe o kilka stopni temperatury zimą (nie ma już tak korzystnego współczynnika efektywności) i latem (nie ma potrzeby klimatyzacji) pompy ciepła nie są już tak dobrze dopasowane. Dlatego też do ogrzewania domów jednorodzinnych niezbyt się tam rozpowszechniły. Jeszcze słabiej pasują do naszych warunków, gdzie i temperatura zimą jest niższa o dalsze kilka stopni, urbanizacja bardziej zaglomerowana, i stosowane są scentralizowane systemy ogrzewania. Można tu dodać, że dla dość powszechnego u nas ogrzewania z elektrociepłowni, wykorzystującego ciepło odpadowe wynikające z drugiej zasady termodynamiki, pompa ciepła zupełnie nie jest konkurencyjna. Dlatego też nie wydaje się, aby wyżej omawiane pompy ciepła o małej mocy do ogrzewania domów jednorodzinnych wykorzystujące

ciepło powietrza atmosferycznego mogłyby być u nas szerzej stosowane.

Większe pompy ciepła o mocy od kilkuset kilowatów do kilku megawatów, głównie wykorzystujące ciepło odpadowe, stosowane są na coraz szerszą skalę w przemyślach krajów wysoko rozwiniętych, takich jak RFN, Japonia i Anglia. Znacznie bardziej takie pompy ciepła przystają do naszej gospodarki cieplnej. Mogą też i powinny odgrywać w niej istotną rolę, im też głównie poświęcone jest niniejsze opracowanie.

Jeżeli chodzi o pompy ciepła o mocach kilkuset kilowatów, to mogą one być sprężarkowe, ze sprężarkami tłokowymi. Źródłem dolnym może jeszcze być powietrze atmosferyczne, ale znacznie lepsze są wody powierzchniowe lub podziemne, chociaż najbardziej atrakcyjne jest ciepło odpadowe. Większe pompy ciepła sprężarkowe, o mocach jednego lub kilku megawatów, wymagają użycia nie produkowanych w kraju sprężarek przepływowych oraz silników elektrycznych o dużej mocy i odpowiednich linii przesyłowych. Dlatego znacznie bardziej atrakcyjne mogą okazać się w zakresie tych mocy sorpcyjne pompy ciepła czy transformatory ciepła. Mogą one być budowane całkowicie w kraju, a do ich napędu wystarcza energia cieplna. Źródłem dolnym jest tu prawie wyłącznie ciepło odpadowe z przemysłu, energetyki lub gospodarki komunalnej.

Tak jak w każdym racjonalnym rozwiązaniu technicznym, o zastosowaniu pompy ciepła powinien decydować rachunek optymalizacyjny. Jego przedmiotem powinny być rozwiązania równań opisujących pompy ciepła oraz równań opisujących inne układy spełniające te same co ona funkcje (np. ogrzewanie centralne koksem, gazem itp.) z zastosowaniem wspólnego kryterium optymalizacji o charakterze ekonomicznym. Takie obliczenia bywają prowadzone dla bardziej typowych przypadków [1], [4], [5]. Niemniej dość trudno uzyskać z nich wystarczające uogólnienia, szczególnie dla pomp ciepła wykorzystujących ciepło odpadowe, a więc działających w bardzo różnych warunkach w każdym odrębnym przypadku, i w naszych warunkach, gdzie o kryteria ekonomiczne optymalizacji jest szczególnie trudno.

Z jednej strony do takich obliczeń trzeba dążyć poprzez opracowanie odpowiednich prototypów, określenie kosztów ich

wytwarzania, parametry termodynamiczne i straty energetyczne. Uporządkowania wymagają też ceny energii, co jest powszechnie wiadome, ale na co rzucają pewne światło dane przedstawione w załączniku (tablica 2). Z drugiej jednak strony, niezależnie od wyników rachunku optymalizacyjnego wiadomo, że energię trzeba coraz bardziej oszczędzać, tak jak robią to wysoko uprzemysłowione kraje, którym stosowanie pomp ciepła się opłaca. Można np. w literaturze spotkać dane o zwrocie kosztów nakładów po dwóch czy trzech latach [1], [2], [3], a niekiedy nawet po roku [6]. Są to więc stosunkowo krótkie okresy czy to w porównaniu z okresem zwrotów kosztów w innych inwestycjach energetycznych, czy to w porównaniu z długim czasokresem ich sprawnego działania, czego przykładem mogą być pompy ciepła działające już od czterdziestu lat.

W tej sytuacji dokonano próby zestawienia niezbędnych informacji, które mogą umożliwić podjęcie decyzji co do celowości stosowania pompy ciepła w określonych warunkach oraz ocenę przydatności poszczególnych rodzajów pomp ciepła do różnych zastosowań.

Niezbędne informacje umożliwiające podjęcie decyzji o zastosowaniu pompy ciepła zestawiono w postaci trzech zbiorów (S, Z, W). Zbiór S przedstawia sprzyjające warunki do jej zastosowania, zbiór Z zawiera jej szczególne zalety, zbiór W natomiast podaje wady i ograniczenia, które powinny zapobiegać zbyt pochopnemu jej zastosowaniu. Zbiory te przedstawiają się następująco:

Zbiór S - sprzyjające warunki do zastosowania pompy ciepła

- S1. Gdy jest do dyspozycji źródło ciepła odpadowego o odpowiedniej mocy i temperaturze zbyt niskiej (ale wyższej od otoczenia), aby wykorzystać je bez zastosowania pompy ciepła.
- S2. Gdy w jakimś urządzeniu przepływa znaczny strumień energii, to zamiast dostarczać ją na wlocie i zrzucić na wylocie, pompą ciepła można wywołać cyrkulację strumienia i w bardzo znaczny sposób ograniczyć doprowadzony z zewnątrz strumień energii.

- S3. Gdy istnieje zapotrzebowanie zarówno na ciepło i na zimno (ściślej, na energię cieplną oddawaną przez pompę ciepła na poziomie źródła górnego i na energię cieplną odbieraną na poziomie źródła dolnego); zapotrzebowanie to może być jednoczesne (np. chłodzenie chłodni składowej i ogrzewanie budynku) albo przemienne (np. używanie pompy ciepła zimą do ogrzewania, latem do klimatyzowania).
- S4. Gdy energia jest przekazywana na znaczne odległości, zastosowanie pompy ciepła w miejscu poboru energii może spowodować oszczędności na izolacji cieplnej rurociągu powrotnego.

Zbiór Z - zalety pompy ciepła

- Z1. Może w istotny sposób poprawić bilans energetyczny węzła technologicznego, instalacji czy zakładu.
- Z2. Może dostarczać energii cieplnej taniej niż inne urządzenia.
- Z3. Może stanowić istotny element większego układu cieplnego gospodarki skojarzonej, obniżając koszt nowej inwestycji lub stwarzając możliwości modernizacyjne.
- Z4. W znacznie niższym stopniu niż inne systemy ogrzewania oddziałuje degradingo na środowisko.
- Z5. Sorpcyjne pompy ciepła mogą być budowane w kraju z dostępnych materiałów po umiarkowanych kosztach.

Zbiór W - wady i ograniczenia zewnętrzne

- W1. W sprężarkowej pompie ciepła nie łatwo jest osiągać temperaturę źródła górnego wyższą od 383 K, z uwagi na wysokie ciśnienie występujące w obiegu termodynamicznym.
- W2. Różnica temperatur źródeł dolnego i górnego jest dość ograniczona, i tak dla sprężarkowych pomp ciepła wynosi ona maksymalnie 50 K, dla sorpcyjnych 60 K.
- W3. W kraju brak jest sprężarek do sprężarkowych pomp ciepła: dla pomp ciepła o mocy od kilku do kilkuset kilowatów można by je uzyskać z produkowanych sprężarek chłodniczych po niewielkich ich przeróbkach; duże sprężarki przepływowe dla pomp ciepła, rzędu megawatów, nie są w kraju dostępne (choć w ograniczonych ilościach), bo ich produkcja nie pokrywa zapotrzebowania chłodnictwa.

T a b l i c a 1

Przydatności różnych pomp ciepła do poszczególnych ich funkcji

Nr	Funkcja pompy ciepła i jej moc w źródle górnym	Temperatura źródła górnego i dolnego [°C]	Dodatkowe uwagi	Skala ocen przydatności różnych pomp ciepła					
				słaba	średnia	duża	b. duża		
1	Ogrzewanie domów jednorodzinnych ciepłem pobieranym z atmosfery: ~ 10 kW	60/0		C <sub>1,5</sub> <sup>*)</sup>	Ae 3,0	As 3,5			
2	Zawracanie strumienia ciepła (jak w warunku S2); 100-500 kW	Wariant I	130/70	wyparka			C 5,0	G 9,0	
				kolumna rektyfikacyjna				F 0,5	
				urządzenia do mycia			Ae 3,5	F 0,5	
				suszarnia					H
		Wariant II	50/30	suszarnia		D 1,4	Ae 6,0	H -	
3	Odzysk ciepła odpadowego ze źródeł technologicznych komunalnych i innych; 1 i więcej MW	Wariant I	130/70	produkcja pary technologicznej		D 1,4	F 0,5		
		Wariant II	80/50	przy współpracy z CO lub gospodarką skojarzoną			B 3,5	D 1,4	
		Wariant III	50/50	odzysk ciepła ze skraplania do podgrzewania wody komunalnej			C 1,5	E 5,0	

\*) Kod określający rodzaj pompy ciepła użyty w rubryce skali ocen:

A - sprężarkowa ze sprężarką tłokową, Ae - napędzana energią elektryczną, As - napędzana silnikiem spalinowym na gaz, B - sprężarkowa ze sprężarką przepływową, C - sprężarkowa ze sprężarką strumieniową, D - sorpcyjna; absorpcyjna, E - sorpcyjna; resorpcyjna, F - transformator ciepła, G - termosprężanie oparów, H - powietrze ze sprężarką przepływową.

\*\*) Wartości liczbowe przedstawiają orientacyjne współczynniki efektywności w rozpatrywanych warunkach.

- W4. Gdyby w kraju zastosować w skali masowej sprężarkowe pompy ciepła napędzane elektrycznie, to ani nie wystarczyłoby zainstalowanej mocy elektrycznej, ani nie podłożyłoby istniejące sieci przesyłowe.
- W5. Pompa ciepła stanowi instalację o pewnym stopniu złożoności, wymagającej automatyzacji oraz odpowiednio kwalifikowanej obsługi w zakresie eksploatacji, remontów itp. Przydatność poszczególnych typów pomp ciepła do różnych ich zastosowań przedstawiono w tablicy 1 za pomocą zaproponowanej skali ocen. W rubryce ocen przydatności symbolami literowymi oznaczono różne pompy ciepła według podanego kodu, jednocześnie przeprowadzających ocenę poprzez wpisanie ich symboli do poszczególnych rubryk oceniających. Obok tych symboli naniesiono przeciętne wartości efektywności, jakie pompa ciepła powinna w tych warunkach osiągać. To daje pewien pogląd, jakie oszczędności energii można z ich zastosowania uzyskać.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Berghmans J., Gelders L.: Economic comparison of the industrial application of heat pumps of different types, 16th Int. Congress of Refrigeration, Com E2, Paris 1983.
- [2] Eder W., Moser D.: Die Wärmepumpe in der Verfahrenstechnik Springer Verlag, 1979.
- [3] Kew P.A.: The industrial application of heat pumps, Heat pumps fundamentals, Proceeding of the NATO Advanced Study Institute of Heat Pump Fundamentals, Espinho, Spain, September 1-12, 1980.
- [4] Loveren van A. et al.: Determining the capital cost of industrial heat pumps by correlation. Int. Symp. Industrial Applications of Heat Pumps, Coventry 1982.
- [5] Lorenzen G.: Economic possibilities and limitations of heat pumps with electric drive, Wärmepumpen, t.1, wyd. 2, 1980, Vulkan - Verlag Essen.
- [6] Sano M. et al.: Absorption heat pump for upgrading of industrial waste heat, 16th Int. Congress of Refrigeration, Com E2, Paris 1983.

# АНАЛИЗ УСЛОВИЙ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В ПНР

## К р а т к о е   с о д е р ж а н и е

Решение о целесообразности применения в промышленности тепловых насосов должно приниматься не только на основе результатов экономического анализа, но и с учетом некоторых дополнительных данных. В работе рассматриваются случаи, встречающиеся в технике, когда использование тепловых насосов может оказаться особенно полезным. Для этих случаев предлагается использование тепловых насосов соответствующих типов. Автор опирается при этом на литературных данных, а также исходит из своей осведомленности относительно отечественных условий. В Польше особенно перспективным, по мнению автора, является применение сорбционных тепловых насосов.

## THE ANALYSIS OF THE CONDITIONS OF USING HEAT PUMPS IN POLAND

### S u m m a r y

The decision of effective applying of heat pumps should be based mainly on economic analysis, as well as on some additional information.

In this work, some industrial cases were selected in which one could expect the highest effectiveness of applying the heat pumps. For these cases the most efficient types of heat pumps were proposed. The choice was based on information taken from literaturze and on the knowledge of our local situation.

Sorption heat pumps seem to be especially useful in our country.



Załącznik 1

Zestawienie cen detalicznych 1 kW.h energii w różnych krajach

Źródło energii	Cena w złotych kraj <sup>1),2)</sup>	Cena w centach USA			
		USA	RFN	Szwecja	Belgia
gaz	0,29	1,4	-	1,4	2,2
benzyna	6,15	3,1	5,51	5,5	3,8
olej napędowy	3,44	-	5,05	4,7	3,0
mazut	0,99	-	-	4,0	2,2
węgiel	0,31	0,5	2,48	-	1,6
elektryczność	1,80	6,0 <sup>3)</sup> 11,0 <sup>4)</sup>	-	3,8	8,6 4,2 <sup>5)</sup>

- 1) W paliwie koszt energii pierwotnej.
- 2) Gaz 2,8 zł/Nm<sup>3</sup>, benzyna 50 zł/l, olej silnikowy 32 zł/l, mazut 11,5 zł/kg, węgiel 2,5 zł/kg.
- 3) Z elektrowni ciepłych.
- 4) Z elektrowni jądrowych w centrach dużych miast.
- 5) Taryfa nocna.