ISSN: 2617-6548

URL: www.ijirss.com

Heat Pump Systems: A Mini Review

Mohammad Omar Temori^{1*}, František Vranay²

¹*Faculty of Civil Engineering, Bakhtar University, Kabul, Afghanistan*

²*Faculty of Civil Engineering, Technical University of Košice, Košice, Slovak Republic*

*Corresponding author: Mohammad Omar Temori (dean.bce@bakhtar.edu.af)

Abstract

In this work, a mini review of heat pumps is presented. The work is intended to introduce a technology that can be used to income energy from the natural environment and thus reduce electricity consumption for heating and cooling. A heat pump is a mechanical device that transfers heat from one environmental compartment to another, typically against a temperature gradient (i.e. from cool to hot). In order to do this, an energy input is required: this may be mechanical, electrical or thermal energy. In most modern heat pumps, electrical energy powers a compressor, which drives a compression - expansion cycle of refrigerant fluid between two heat exchanges: a cold evaporator and a warm condenser. The efficiency or coefficient of performance (COP), of a heat pump is defined as the thermal output divided by the primary energy (electricity) input. The COP decreases as the temperature difference between the cool heat source and the warm heat sink increases. An efficient ground source heat pump (GSHP) may achieve a COP of around 4. Heat pumps are ideal for exploiting low-temperature environmental heat sources: the air, surface waters or the ground. They can deliver significant environmental (CO₂) and cost savings.

Keywords: Heat pump, evaporators, condensers, compressors, expansion wall, drive power, energy transfer, refrigerant, medium, coefficient of performance, seasonal performance factor, primary energy rate.

DOI: 10.53894/ijirss.v4i2.59

Funding: This study received no specific financial support.

History: Received: 15 January 2021/Revised: 24 February 2021/Accepted: 22 March 2021/Published: 30 March 2021

Licensed: This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Acknowledgement: Both authors contributed to the conception and design of the study.

Competing Interests: The authors declare that they have no conflict of interests.

Transparency: The authors confirm that the manuscript is an honest, accurate, and transparent account of the study was reported; that no vital features of the study have been omitted; and that any discrepancies from the study as planned have been explained.

Ethical: This study follows all ethical practices during writing.

سیستم های پمپ حرارتی: یک بررسی کوتاه

محمد عمر تیموری¹، فرانیشیک وران ای².

¹دانشکده انجینیری، دانشگاه باختار، کابل، افغانستان

²دانشکده انجینیری، دانشگاه تخنیکي کوشیتسی، کوشیتسی، جمهوری سلواکیا

مکاتبات: محمد عمر تیموری، دانشکده انجینیری، دانشگاه باختار، کابل، افغانستان. تلفن: 0093797833533، پست الکترونیکی: dean.bce@bakhtar.edu.af

چکیده

در این کار، یک بررسی کوتاه از پمپ های حرارتی در نظر گرفته شده است که به عنوان یک تکنولوژی، می تواند برای تولید انرژی از محیط زیست طبیعی مورد استفاده قرار گیرد و در نتیجه مصرف انرژی برق برای تسخین و سرمایش کاهش یابد. پمپ حرارتی وسیله ای مکانیکی است که حرارت را از یک محفظه محیطی به محفظه دیگر منتقل می کند، معمولاً در برابر گرادیان درجه حرارت (یعنی از سرد به گرم). برای انجام این کار، یک انرژی ورودی لازم است. این ممکن است انرژی مکانیکی، الکتریکی یا حرارتی باشد. در بیشتر پمپ های حرارتی مدرن، فعالیت یک کمپرسور و چرخه انبساط که مایع میبرد را بین دو مبادله حرارتی در حرکت می آورد، توسط انرژی الکتریکی تأمین می گردد: تبخیر کننده سرد و یک کندانسور گرم. ضریب عملکرد (COP) پمپ حرارتی به عنوان انرژی حرارتی به دست آمده تقسیم بر انرژی عرضه شده (برق) تعریف می شود. با افزایش اختلاف درجه حرارت بین منبع حرارت سرد و مخزن گرم، COP کاهش می یابد. یک پمپ حرارتی منبع زمینی کارآمد (GSHP) ممکن است COP آن در حدود 4 برسد. پمپ های حرارتی برای بهره برداری از منابع حرارتی محیطی در درجه حرارت پایین ایده آل هستند: هوا، آبهای سطحی یا زمین آنها می توانند از نظر زیست محیطی (CO₂) و صرفه جویی در هزینه های مصرف انرژی، تأثیر قابل توجهی را به همراه داشته باشند.

کلمات کلیدی:

پمپ حرارتی، تبخیر کننده، کندانسور، کمپرسور، وال انبساط، انتقال انرژی، ماده سرد کننده، ضریب عملکرد، ضریب عملکرد فصلی، درجه استفاده از انرژی اولیه.

1. مقدمه

سیستم های پمپ حرارتی گزینه های اقتصادی را برای بازیابی حرارت از منابع متنوع برای استفاده در کاربردهای مختلف صنعتی، تجاری و مسکونی ارائه می دهند. با افزایش هزینه های انرژی، صرفه جویی در مصرف انرژی و بهبود کارایی کلی انرژی ضروری پنداشته می شود [1]. مفهوم اصلی پمپ های حرارتی، ترانسفر (انتقال) انرژی از حرارت با پتانسیل کم به درجه حرارت با پتانسیل بالاتر با امکان استفاده مستقیم از آن می باشد. به عنوان یک قاعده، انرژی از یک منبع تجدید پذیر یا از حرارت زباله ای که از آن هیچ استفاده صورت نمی گیرد بدست می آید. برای این عملیه ترانسفر (انتقال)، از انرژی برای درایف پاور تجهیزات استفاده می شود و به طور قابل توجهی پایین تر از انرژی می باشد که در این پروسه به دست آمده است. به همین دلیل است که پمپ های حرارتی در جمله منابع انرژی جایگزین بشمار می روند [2].

1.1 نوع پمپ حرارتی با توجه به نوع ماده

نوع پمپ حرارتی وابسته است به نوع محیطی که از آن انرژی حاصل می شود و نوع محیطی که به آن انرژی انتقال داده می شود. پمپ ها از حرارت جمع شده در زمین، هوا و آب استفاده می کنند [3]. انواع پمپ ها را می توان چنین تشخیص داد: هوا / آب، هوا / آب، آب / آب، آب / زمین، هوا / زمین / هوا [4]. همین ساختار تجهیزاتی پمپ حرارتی است که امکان جمع آوری حرارت را که درجه حرارت آن پایین می باشد و آنرا با بلند بردن درجه حرارت، تهیه آب گرم تأسیسات تسخین مرکزی فراهم می نماید [5]. پمپ های حرارتی با موثریت کامل قادر به تأمین درجه حرارت لازم برای فضای تسخین شده داخلی ساختمان و گرمایش آب مورد نیاز و همچنان در صورت لزوم برای سرد ساختن هوای محیط داخل ساختمان می باشند [6].

1.2 خواص پمپ حرارتی

خواص پمپ حرارتی نظر به نوع واحد نیروی محرکه (power unit) و نوع مواد سوختی یا به اصطلاح دیگر انرژی مصرف شده در واحد نیروی محرکه (power unit) از هم متمایز می گردد [7]. در کل نیروی محرکه پمپ های حرارتی به چهار نوع ذیل تقسیم بندی می شود:

- کمپرسور برقی
- کمپرسور گازی
- جاذب (Absorbent)
- جذب سطحی (Adsorption)

1.3 تاریخ پمپ حرارتی

معرفی پمپ حرارتی توسط لرد کلونین در سال 1852 و توسط پیتر ریتر فون ریپینگ در سال 1855 صورت گرفت. پس از آزمایش با یک فریزر، رابرت سی وبر اولین پمپ حرارتی مبدل مستقیم را در اواخر سال 1940 ساخت. این تکنولوژی در دهه 1970 در سوئین محبوب شد و از آن زمان به بعد در تمام جهان این مفکوره رشد می کند [8].

2. پرنسپ کار پمپ های حرارتی

اصل اساسی عملکرد پمپ حرارتی بر عکس یک موتور حرارتی است: با استفاده از کار مکانیکی برای انتقال حرارت در برابر مسیر طبیعی آن از یک مکان سرد به یک مکان گرمتر، از فضای باز به داخل خانه [9]. اجزای اصلی سیستم پمپ حرارتی کمپرسور، انژکتور و دو مبدل حرارتی می باشند که به نام تبخیر کننده و کندانسور نیز یاد می شوند. این اجزا در مدار بسته به هم متصل می شوند. در آن یک ماده، اصطلاحاً ماده سرد کننده در آن جریان دارد [10]. این تجهیزات اصلی به دلیل انرژی ورودی در نیروی محرکه، پمپاژ انرژی از منبع اصلی (اولیه) را به سمت ثانویه انجام می دهد. در سمت اولیه سردی تولید می شود و در طرف ثانویه حرارت تولید می شود. بنابراین، پمپ حرارتی در هر دو حالت سرد نمودن و گرم نمودن قابل استفاده می باشد. پرنسپ عملکرد آن اعمال قوانین فیزیک می باشد [11].

2.1 بر مبنای قانون اول ترمودینامیک

مقدار انرژی در سیستم بسته ثابت می‌باشد. انرژی می‌تواند به شکل دیگری از انرژی تبدیل شود، اما نمی‌توان آن را از دست داد یا افزایش داد.

2.2 بر مبنای قانون دوم ترمودینامیک

از جمله قانون ترمودینامیک چنین می‌توان نتیجه گرفت که حرارت فقط از یک محیط با درجه حرارت بالاتر به یک محیط دیگر با درجه حرارت پایین‌تر منتقل می‌شود. پمپ حرارتی از جمله تجهیزاتی می‌باشد که حرارت را از ماده ای که درجه حرارت آن پایین می‌باشد، به ماده ای که درجه حرارت آن بالاتر می‌باشد منتقل می‌نماید. حرارت را از محیط بیرونی که در آن جسم گرم شده (زمین، هوا، آب) قرار دارد، می‌گیرد. آن را به سطح درجه حرارت بالاتر تبدیل می‌نماید و از حرارت آزاد شده برای تسخین و گرم نمودن آب گرم مورد نیاز استفاده می‌کند [12]. در حقیقت قانون دوم ترمودینامیک دلیل نیاز به پمپ حرارتی برای انتقال حرارت از محیط سردتر به محیط گرمتر می‌باشد، اما تأمین انرژی در قوه محرکه ضروری است. پمپ حرارتی با همان اصل ترمودینامیکی یخچال کار می‌نماید، که حرارت را در داخل یخچال از غذا اخذ می‌نماید - سرد می‌نماید و حرارت بدست آمده در عقب یخچال را به داخل اتاق منتقل می‌کند - محیط داخل اتاق گرم می‌شود [13]. غذای که در حالت سرد شدن است، محیطی می‌باشد که از آن با استفاده از تبخیر کننده انرژی آنرا را می‌گیریم. برای به حرکت افتادن یخچال و فریزر کمپرسور ساخته شده است که نیاز به انرژی (معمولاً برق) در درایف پاور می‌داشته باشد. قسمت عقبی یخچال دارای یک کندانسور است که در هنگام فعالیت گرم می‌باشد و این باعث می‌شود که کل انرژی به محیط اطراف آن که در این حالت محیط داخلی اتاق می‌باشد، منتقل شود. از این انرژی حرارتی برای فعالیت پمپ حرارتی که برای تسخین، گرم کردن میرد یا تجهیزات دیگر می‌باشد، استفاده می‌شود. [14].

شکل 1. پمپ حرارتی کمپرسوری [14].

شکل 2. پمپ حرارتی با تعریف حالت های ماده سرد کننده. در هنگام تغییر حالت بهره برداری یا استفاده از ماده سرد کننده دیگر، نتایج متفاوت خواهد بود [14].

شکل های 1 و 2 فعالیت پمپ حرارتی و جریان های انرژی در یک سایلک کاری به صورت یک نما (schematically) نشان داده شده است. مهم برای این عملکرد خود ماده سرد کننده می باشد که با آن سیستم پر می شود و در جریان گردش (سایلک) با تغییر حالت خود، امکان ترانسفر انرژی را فراهم می نماید. خصوصیات ماده سرد کننده (درجه حرارت نقطه جوش و درجه حرارت به حالت مایع در آمدن در فشارهای خاص) محدوده کاری پمپ حرارتی را تعیین می نماید. درجه حرارت بهره برداری معمولی محیط سرد شده در سمت اولیه در حدود 20°C - الی 25°C + می باشد [15]. قیمت ها در قوس ها مربوط به شکل 2 می شود. ماده سرد کننده موجود در تبخیر کننده، در هنگام عملیه تبخیر حرارت را از همان محیط اطراف خود می گیرد ($\theta = 7^{\circ}\text{C}$). محیط سرد شده می تواند زمین، آب، هوا باشد. ماده سرد کننده به صورت بخار وارد کمپرسور می شود ($\theta = 3^{\circ}\text{C}$ و $p = 1,7 \text{ bar}$). با فشار دادن، فشار گاز ها و درجه حرارت آنها به میزان قابل توجهی افزایش می یابد ($\theta = 73,5^{\circ}\text{C}$ و $p = 13,5 \text{ bar}$). در کندانسور، آنها از طریق دیواره های مبدل کننده با آب سردتر آب تسخین ($\theta = 50/45^{\circ}\text{C}$) در تماس می شوند که به وسیله آن گاز ها کاندنسیشن یا مترام (condense) گردیده و انرژی حرارتی خود را بدون تغییر فشار ترانسفر می نمایند ($\theta = 48^{\circ}\text{C}$ و $p = 13,5 \text{ bar}$). در سمت ثانویه، درجه حرارت محیط گرم شده در پمپ حرارتی معمولی در حدود تقریبی 25°C + الی 55°C + می باشد. وظیفه وال انبساط انتقال (تزریق) ماده سرد کننده به حالت مایع به داخل لوله تبخیر کننده می باشد. پس از پایین آوردن فشار بعد از وال انبساط، درجه حرارت و فشار کاهش می یابد ($\theta = -2^{\circ}\text{C}$ و $p = 1,7 \text{ bar}$). این ماده دوباره وارد تبخیر کننده می شود و در آنجا با تغییر دادن به حالت گازی، حرارت را از محیط اطراف می گیرد. این پروسه سپس تکرار می شود. در جدول 1 انواع مختلف ماده های سرد کننده با درجه حرارت نقطه غلیان آنها زیر فشار $0,1 \text{ MPa}$ و درجه حرارت کاندنسن آن زیر فشار $2,6 \text{ MPa}$ آمده است. رایج ترین ماده سرد کننده مورد استفاده در پمپ های حرارتی R407C و R410A می باشد [15].

جدول 1. مقادیر درجه حرارت ماده های سرد کننده متداول که در پمپ حرارتی از آن استفاده می شود [15].

علامت گذاری	نام	نقطه غلیان تحت فشار 1 bar (0,1 MPa)	درجه حرارت مایعات کاندنسن تحت فشار 26 bar (2,6 MPa)
R 12	دیکلوروفلوروئومتان	-30°C	86°C
R143a	1,1,1,2 پترفلورئن	-26°C	80°C
R290	پروپان	-42°C	70°C
R4040A	مخلوط فلوروکربن	-47°C	55°C
R407C	مخلوط فلوروکربن	-45°C	58°C
R410A	مخلوط فلوروکربن	-51°C	43°C
R600A	بوتان	-12°C	114°C
R717	آمونیاک	-33°C	60°C
R744	R744	-57°C	-57°C
T1070	پروپن	-48°C	61°C

2.3 سایلک کاری پمپ حرارتی

از لحاظ فیزیکی، این پروسه را می توان با سایلک کارنوت* شرح کرد. در سایلک کاری کمیت اصلی درجه حرارت و آنترپپی (بیان وضعیت انرژی) وارد می شود و اجازه می دهد که موثریت بهره برداری پمپ حرارتی محاسبه شود. سایلک Carnot، یا پروسه کارنوت یک دوران حرارتی ایده آل است که از تغییرات برگشت پذیر (دو آدیابات و دو ایزوترم) تشکیل شده است که در بین دو طرف با درجه های حرارت مختلف صورت می گیرد.

شکل 3. نمایش گرافیکی سایلک کاری نظری پمپ حرارتی [14, 16].

شکل 3 دیگر سایلک کاری پمپ حرارت را نشان می دهد که به بنام سایلک کارنوت دستگاه نیز گفته می شود. سایلک کاری ایده آل نظر به تیر های کشیده شده دنبال می گردد. تبادل حرارت بین ماده کاری در حال کار و مخازن، هنگامی وقوع می یابد که رویداد ایزوترمال انجام می شود، همانطوریکه در نقاط 4،

3 و 2، 1 نشان داده شده است. نقاط علامت گذاری شده 2، 3 و 4 بیانگر وقایع آدیباتیک است که در آنها هیچ انرژی به شکل گرما منتقل نمی‌شود. در هنگام انبساط آدیباتیک و انبساط ایزوترمال، ماده فعال منبسط می‌شود. این کا Q_{Total} نام دارد که بیانگر انرژی است که پمپ حرارت به سیستم تسخین می‌رساند. در هنگام کامپریشن ایزوترمال و کامپریشن آدیباتیکی، ماده کاری فشرده شده کاری را انجام می‌دهد که به آن Q_{ee} اطلاق می‌شود و متناسب با مقدار انرژی است که از منبع حرارتی با درجه حرارت پایین بدست می‌آید. نتیجه کاری حاصل شده بر اساس تفاوت بین این دو کار تعیین می‌شود و تحت نام Q_{el} نشان داده می‌شود و متناسب با انرژی است که از شبکه برق تأمین شده و به سایلک کاری، جهت کامپریشن ارایه می‌گردد [16]. در شکل شماره 3 این مقادیر فیزیکی نشان داده شده است:

T	درجه	حرارت	مطلق	با	واحد	اندازه	گیری	(K)
S	آنترپوی (کمیت متغیر، در این حالت	ما،	انرژیکی)	با	واحد	اندازه	گیری	(kJ / kg)
Q	مقدار انرژی با واحد اندازه گیری	(kWh)						

آنترپوی یک کمیت متغیر است که تغییر آن به حالت‌های شروع و پایان بستگی دارد. در تبدیل‌های انرژی ناشی از ضایعات منجر به انحطاط انرژی و افزایش آنترپوی می‌شود.

انحطاط (دژنراسیون) را می‌توان از دست دادن توانایی انجام کار دانست. انرژی از دست داده شده ضایع و بی‌فایده می‌شود. ترکیب سایلک کاری ایده آل پمپ حرارتی را نیز می‌توان به سادگی به شرح زیر توضیح داد [17]:

چهار فاز سایلک کاری ایده آل پمپ حرارتی را نیز می‌توان به سادگی به شرح زیر توضیح داد [17]:

- 1 - 2 تبخیر ایزوترمالی (در درجه حرارت ثابت)،
- 2 - 3 کامپریشن آدیباتیکی (ایزنترپیک) (در فشار ثابت)،
- 3 - 4 کاندنسیشن ایزوترمالی (در درجه حرارت ثابت)،
- 4 - 1 انبساط آدیباتیکی (ایزنترپوی) (در فشار ثابت).

مجموع انرژی عرضه شده از پمپ حرارتی به سیستم

(1)

در هنگام طراحی پمپ حرارتی سعی می‌کنیم تا حد ممکن حرارت را از محیط اطراف اخذ نماییم و با کمترین کار ممکن آن را به منبع که برای تسخین می‌باشد منتقل نماییم. کمیتی که به این ترتیب تعریف می‌شود، فاکتور تسخین (ϵ) یا ضریب عملکرد (COP) نامیده می‌شود [18]. فاکتور تسخین یک عدد بدون بعد است و با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$\epsilon = COP = Q_{Total} / Q_{el} = (Q_{ee} + Q_{el}) / Q_{el} = T_{output} / (T_{output} - T_{input}) \quad (2)$$

از آنجاییکه:

$$\begin{aligned} T_{input} & \text{ درجه حرارت منبع حرارت،} \\ T_{output} & \text{ درجه حرارت از پمپ حرارتی در بخش خروجی،} \\ Q_{ee} & \text{ انرژی به دست آمده از بیرون } T_{input} \text{ (رایگان)،} \\ Q_{el} & \text{ انرژی از شبکه، مصرف شده برای درایف پاور کمپرسور،} \\ Q_{Total} & \text{ مجموع انرژی تولید شده در } T_{output} \text{ می‌باشند.} \end{aligned}$$

مثال اول

درجه حرارت آب چاه $T_{input} = +10^{\circ}\text{C}$

درجه حرارت سیستم تسخین رادیاتوری $T_{output} = +50^{\circ}\text{C}$

$$\epsilon = T_{output} / (T_{output} - T_{input}) = (273+50) / ((273+50)-(273+10)) = 323 / 40 = 8.08$$

با ترانسفر حرارت، از نظر تئوری توانستیم 8 برابر انرژی بیشتری را دریافت کنیم از آنچه در ورود از آن استفاده کردیم.

مثال دوم

درجه حرارت آب چاه $T_{input} = +10^{\circ}\text{C}$ ، درجه حرارت سیستم تسخین مرکزی کفی $T_{output} = +30^{\circ}\text{C}$

$$\epsilon = T_{output} / (T_{output} - T_{input}) = (273+30) / ((273+30)-(273+10)) = 303 / 20 = 15.15$$

با ترانسفر حرارت، از نظر تئوری توانستیم 15 برابر انرژی بیشتری را دریافت کنیم از آنچه در ورود از آن استفاده کردیم.

محاسبات نشان می‌دهد که اختلاف درجه حرارت بین $T_{output} - T_{input}$ بر تغییر در موثریت پمپ حرارتی تأثیر می‌گذارد. هر قدر که اختلاف درجه حرارت کمتر باشد، به همان اندازه موثریت نیز بیشتر می‌شود. ولی در عمل، بدست آوردن چنین موثریت‌ها قابل دسترس نمی‌باشد. کاهش موثریت ناشی از موجودیت عیوب در سیستم، کمپرسور، خصوصیات فیزیکی ماده سرد کننده، ضایعات فشار در لوله‌ها و سایر تأثیرات می‌باشد. در رابطه‌های فوق برای محاسبه ϵ باید درجه حرارت ماده سرد کننده تبخیر T_{vapour} و کاندنسیشن T_{cond} جایگزین شود که با T_{output} و T_{input} مطابقت ندارند. موثریت واقعی در محدوده $\epsilon = (3-5)$ بوده و باید با اندازه گیری‌های طولانی مدت تعیین شود.

3. تعیین موثریت حفظ انرژی (کارایی انرژی - energy efficiency) پمپ‌های حرارتی

3.1 موثریت حفظ انرژی پمپ‌های حرارتی طبق COP در تبدیل حرارت، کارایی انرژی با یک عدد عملکردی مشخص می‌شود. بنام COP (ضریب عملکرد) نامیده می‌شود و نسبت انرژی حرارتی بدست آمده بر انرژی است که به قوه محرکه ارائه شده است.

$$COP = \frac{Q_{t2}}{Q_{e2}} \quad (3)$$

از آنجاییکه Q_{t2} انرژی حرارتی بدست آمده و Q_{e2} انرژی عرضه شده در درایف پاور می‌باشد. هر قدر که مقدار COP بالاتر باشد، به همان اندازه می‌توانیم مقدار انرژی حرارتی مفید بیشتری را از آنچه انرژی عرضه شده به درایف پاور بوده است بدست بیاوریم. در این صورت پمپ حرارتی دارای موثریت بیشتری می‌باشد. این قیمت غالباً برای مقایسه پمپ‌های حرارتی که دارای انرژی یکسان عرضه شده به درایف پاور هستند استفاده می‌شود. بهر حال، قیمت COP ثابت نمی‌باشد. این قیمت متأثر از درجه حرارت منطقه خواهد بود که پمپ در آن فعالیت

می‌نماید (درجه حرارت تبخیر و درجه حرارت کاندنسیشن ماده کار شده در پمپ حرارتی). در اصل پرنسیپ، زمانیکه اختلاف اندک درجه حرارت فی مابین ماده (medium) سرد کننده و گرم کننده موجود می‌باشد، قیمت COP بیشتر می‌باشد. ماده (medium) سرد کننده بعنوان طرف اصلی و ماده (medium) گرم کننده بعنوان طرف ثانویه پمپ حرارتی قلمداد می‌شود. از اینرو، استقرار پمپ های حرارتی در سیستم های با درجه حرارت پایین سودمند می‌باشد. برای سیستم های تسخین کفی، دیواری با هم سقفی و بلاخره برای رادیاتور های که با درجه حرارت پایین فعالیت می‌نمایند بکار گرفته میشوند. در شکل 4، جریان قیمت های COP در زمان تسخین را برای انواع مختلف سیستم های تسخین نشان می‌دهد. از لحاظ مقایسه نمودن COP، بهترین سیستم، همان سیستمی می‌باشد که دارای بالاترین قیمت باشد.

شکل 4. جریان سالانه قیمت های COP را در هنگام بهره برداری از یک پمپ حرارتی که درایف پاور آن توسط یک موتور الکتریکی (آب / آب) به حرکت می‌آید، در انواع مختلف سیستم های تسخین در طول فصل تسخین نشان می‌دهد. فرض می‌شود که درجه حرارت آب اولیه در این حالت 10 °C باشد [14].

در شکل می‌توان دید که برای تطبیق پمپ حرارتی مناسب ترین سیستم به ترتیب: سیستم تسخین سقفی (سقف تشعشعی)، کفی (کف تشعشعی) و رادیاتوری می‌باشد. درجه حرارت آب سیستم تسخین در طول فصل تسخین بین 25°C الی 35°C با قیمت اوسط COP در حدود 5.7 می‌باشد. برای سیستم تسخین رادیاتور معمولی بین 32°C الی 60°C با COP متوسط در حدود 3.6 می‌باشد. استفاده از پمپ حرارتی در سایر موارد بهره برداری ها نیز ممکن می‌باشد، به عنوان مثال برای گرم نمودن آب. همچنان در پروسه تولید سرما نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

3.2. موثریت حفظ انرژی (کارایی انرژی - energy efficiency) پمپ های حرارتی طبق SPF

در هنگام عرضه انرژی حرارتی، سایر تجهیزات وارد پروسه می‌شوند، به خصوص برای انتقال ماده (medium) در دو طرف اولیه و ثانویه پمپ حرارتی. آنها عمدتاً پمپ های مکش و گردش (سیرکولشنی) هستند. سهم آنها در مجموع مصرف انرژی در فصل تولید حرارت تغییر می‌نماید. بیان آن توسط موثریت حفظ انرژی از طریق SPF (Seasonal Performance Factor)

در پروسه عرضه انرژی برای توزیع و مصرف، ما همچنین انرژی لازم را برای بهره برداری از یک منبع دو ظرفیتی در نظر می‌گیریم. در مورد پمپ های حرارتی الکتریکی، کمبود توان کاری آن توسط یک منبع دو ظرفیتی (آب گرمی برقی، دیگ برقی، ...) تکمیل می‌شود. این منبع ممکن است بخشی از پمپ حرارتی باشد و بنابراین در مجموع مصرف انرژی آن سهم می‌گیرد.

$$SPF = \frac{Qt2}{Qe1} \quad (4)$$

در اینجا SPF نسبت انرژی حرارتی مفید تولید شده (Qt2) بر انرژی عرضه شده در درایف پاور، منبع دو ظرفیتی و توزیع انرژی (Qe1) را بیان می‌نماید.

بنابراین قیمت SPF همواره از قیمت COP پایینتر می‌باشد. البته کاهش بر عملکرد سیستم های پشتیبانی تأثیر می‌گذارد، یعنی موثریت یا کارایی آنها را در مجموع پروسه ترانسفر و توزیع حرارت تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین استفاده از قیمت های SPF در مقایسه های اقتصادی و همچنین انرژی که نشان دهنده مصرف انرژی واقعی عملیاتی (زمان بهره برداری) و هزینه های مربوط به فصل های مقایسه است، ضروری می‌باشد. نحوه اتصال پمپ حرارتی در سیستم تولید حرارت بسیار متنوع بوده و می‌توان آن را به طور جداگانه متصل نمود (سیستم یک ظرفیتی) یا می‌توان آن را با منابع دیگر (دو ظرفیتی، سه ظرفیتی، ...) ترکیب نمود [19].

شکل 5. نما اتصال پمپ حرارتی آب / آب در سیستم تولید حرارت برای تسخین در اتصال دو ظرفیتی [14, 20].

همانطور که در شکل 5 مشاهده می‌شود، سیستم تسخین شامل یک متر برق جداگانه است که مصرف منبع انرژی برق و همچنین پمپ های گردش را ثبت می‌کند. این سیستم شامل پمپ حرارتی (HP)، پمپ شناور (P1) و پمپ های گردش (P2-P5) می‌باشد. اجزای منفرد یک سیستم تولید حرارت برای تسخین در یک اتصال دو ظرفیتی به شرح زیر است [20]:

HE - Heat Exchanger

HP - Heat Pump - water/water, 0°C/35°C COP 3.8; heat performance 95.3 kW

HA - Heat Accumulation Tank

HO - Heated Object

M1 = Qt1 - Heat Meter

M2 = Qt2 - Heat Meter

E1 = Qe1 - Electricity Meter

E2 = Qe2 - Electricity Meter

HA - Heating Storage Tank

BS - Bivalent/Backup heat source

W1-2 - Source/Suction well

P1 - Submersible Pump

P2-3 - Circulation Pumps – Engine Room

P4-5 – Circulation Pumps – Building

شکل 5 عناصر اصلی مورد استفاده برای انتقال انرژی حرارتی از منبع انرژی تجد پذیر (آب موجود در چاه) را شرح می‌دهد و همچنان ترانسفر آن به پتانسیل انرژی بالاتر (پمپ حرارتی باعث افزایش درجه حرارت آب گرم سیستم تسخین گردیده و آنهم توسط انرژی گرفته شده از چاه و انرژی کار کمپرسور برقی که به حرکت می‌افتد و تبدیل می‌شود به حرارت). برای ارزیابی کار سیستم و موثریت حفظ انرژی، کمیت های اندازه گیری شده ذیل تعیین کننده می- باشند:

الکتریکی:

انرژی = انرژی الکتریکی اندازه گیری شده توسط متر برق $E1$ (kWh) مصرف شده برای بهره برداری از کل سیستم (تجهیزات پمپ های حرارتی، پمپ های $P1-P5$ ، BS منبع دو ظرفیتی آب گرمی برقی)،
 $Qe2$ = انرژی الکتریکی اندازه گیری شده توسط متر برق $E2$ (kWh) مصرف شده در پمپ حرارتی برای بهره برداری از آن

حرارتی:

انرژی = انرژی حرارتی اندازه گیری شده توسط متر حرارت $M1$ (kWh) حاصل شده از منبع انرژی تجد پذیر (آب موجود در چاه)،
 $Qt2$ = انرژی حرارتی اندازه گیری شده توسط متر حرارت $M2$ (kWh) تولید شده در پمپ حرارتی و استفاده شده برای عرضه به سیستم (در این حالت برای تسخین).

3.3 موثریت حفظ انرژی (کارایی انرژی - energy efficiency) پمپ های حرارتی طبق PER

بیان عینی تری از کارایی انرژی، مقدار درجه استفاده از انرژی اولیه (Primary Energy Rate) PER، که کارایی سیستم های انرژی را با انواع مختلف درایف پاور و انرژی تولید شده مقایسه می‌کند، امکان پذیر است PER. به طور کلی نسبت کل انرژی تأمین شده به سیستم بر انرژی مفید تولید شده می‌باشد [21].

$$PER = \frac{Qe1}{Qt2} \quad (5)$$

در اینجا PER نسبت انرژی تأمین شده به سیستم $(Qe1)$ و انرژی حرارتی مفید تولید شده $(Qt2)$ را بیان می‌نماید.

انواع مختلف مواد سوخت یا انرژی های وجود دارد که از آن برای درایف پاور پمپ حرارتی می‌توان استفاده کرد، بنابراین روش مقایسه کلی از طریق قیمت COP همه جانبه نمی‌باشد. در مقایسه از طریق قیمت PER، انرژی حرارتی موجود در مواد سوختی اولیه وارد می‌شود که بر حسب مقدار احتراق آن بر واحد انرژی حرارتی مفید بدست آمده بیان می‌گردد [22]. با استفاده از قیمت های PER، می‌توان هر نوع سیستم انرژی دلخواه برای تولید حرارت، سرما، انرژی برق را با انواع مختلف انرژی در نیروی محرکه (درایف پاور) آن مقایسه کرد. بهترین از لحاظ مقایسه PER، سیستمی می‌باشد که کمترین قیمت را دارا باشد [23].

References

- [1] K. J. Chua, S. K. Chou, and W. M. Yang, "Advances in heat pump systems," *Applied Energy*, vol. 87, pp. 3611-3624, 2010.
- [2] F. Vranay, Z. Vranayova, and D. Ocipova, "Renewable energy source for today situation - geoexchange systems," vol. 266, pp. 99-107, 2009.
- [3] J. Knaga and T. Szul, "Analysis of water-water type heat pump operation in a building object," *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, vol. 11, pp. 100-108, 2011.
- [4] K. Tucki, M. Sikora, M. Karlikowska, and W. Bedkowski, "Selected issues of the technical analysis of a heat system," *Using the Direct Evaporation Heat Pump*, vol. 166, pp. 02-787, 2016.
- [5] G. Floridesa and S. Kalogirou, "Ground heat exchanger – a review of systems, models and applications," *Renewable Energy*, vol. 32, pp. 2461-2478, 2007.
- [6] A. Arsalis, S. K. Kær, and M. P. Nielsen, "Modeling and optimization of a heat-pump-assisted high temperature proton exchange membrane fuel cell micro-combined-heat-and-power system for residential applications," *Applied Energy*, vol. 147, pp. 569–581, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.03.031>.
- [7] M. Štefanco, D. Košičanová, F. Vranay, M. Kušnir, and J. Lojkovics, "Principle of function of sorption heat pumps," *Gasworks, Waterworks, Heating Engineer, Air Conditioning No.5-2014* 2014.
- [8] M. Kvakovský, L. Dedinská, and V. Čačková, "Utilization of heat pumps in building heating system," 2009.
- [9] I. Staffell, D. Brett, N. Brandon, and A. Hawkes, "A review of domestic heat pumps," *Energy & Environmental Science*, vol. 5, pp. 9291–9306, 2012.
- [10] J. Pinka and B. Jagerova, "Possibilities of using heat pumps for heating family houses and flats," *Acta Montanistica Slovaca*, 2006.
- [11] F. Vranay, Z. Vranayova, and M. Kovac, "Smart buildings versus ground energy and indoor technologies," vol. 106, pp. 235-240, 2009.
- [12] Š. Antal, "Termodynamika, STU, Bratislava," 1992.
- [13] J. Pinka, "Ecological and economic evaluation of the use of energy from hydrogeothermal sources and energy recovery by heat pumps," pp. 100-104, 2017.
- [14] M. O. Temori, "Heat Pumps (2020), Mohammad Omar Teymouri, Heat Pumps (1399)," 2020.
- [15] F. Vranay and M. Kusnir, "Renewable energy sources," Kosice, Slovakia, Faculty of Civil Engineering, Technical University of Kosice 2017.
- [16] D. Halliday, R. Resnick, and J. Walker, "Fyzika, Prometheus," 2006.
- [17] A. Žeravík, "Stavíme tepelné čerpadlo," *Euro Print, Spol. S R. O.*, 2003.
- [18] M. Štefanco, D. Kosicanova, F. Vranay, M. Kusnir, J. Lojkovics, and C. Stone, "Heat pumps as a means of efficiency using renewable energy sources," *In 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2014*, vol. 1, pp. 267-274, 2014.
- [19] M. Kušnir, F. Vranay, P. Kapalo, D. Košičanová, and Z. Vranayová, "The effective use of renewable energy sources in office building," *Energy for Buildings, 9th ICEE, No. 267*, 2014.
- [20] M. Kušnir, D. Košičanová, Z. Vranayová, F. Vranay, and J. Lojkovics, "Zero energy balance proposal for office buildings," *Technical Journal*, vol. 2014, pp. 259-264, 2014.
- [21] M. Jobb, M. Janovcová, M. Malcho, and J. Jandačka, "Influence of outdoor temperature on operating parameters of gas heat pump in real conditions," UNIZA2010.
- [22] Act No. 86/2019, "Act No. 86/2019 Coll. 555/2005 Coll. on Energy Performance of Buildings and on Amendments and Supplements," 2019.
- [23] M. Štefanco, D. Košičanová, F. Vranay, M. Kušnir, and J. Lojkovics, "Principle of function of sorption heat pumps, Gasworks, waterworks, heating engineer, air conditioning No.5-2014," 2014.
- [24] F. Vranay and Z. Vranayova, "Influence of heat source choice on building energy certification process and CO 2 emissions. In International Conference Current Issues of Civil and Environmental Engineering Lviv-Košice-Rzeszów," ed Cham: Springer, 2019, pp. 541-548.
- [25] N. Aste, R. S. Adhikari, and M. Manfren, "Cost optimal analysis of heat pump technology adoption in residential reference buildings," *Renewable Energy*, vol. 60, pp. 615-624, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.06.013>.