



Received 08 January 2021  
Accepted 20 March 2021  
Available online 30 March 2021

ISSN: 2617-6548  
[www.ijirss.com](http://www.ijirss.com)



Review Article

## Heat pump systems: A mini review

Mohammad Omar Temori<sup>1,\*</sup>, František Vranay<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Faculty of Civil Engineering, Bakhtar University, Kabul, Afghanistan*

<sup>2</sup>*Faculty of Civil Engineering, Technical University of Košice, Košice, Slovak Republic*

### 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 (CO<sub>2</sub>) and cost savings.

**Keywords:** Heat pump, Evaporators, Condensers, Compressors, Energy transfer

\*Corresponding author:  
E-mail addresses: dean.bce@bakhtar.edu.af



Received 08 January 2021  
Accepted 20 March 2021  
Available online 30 March 2021

ISSN: 2617-6548

[www.ijirss.com](http://www.ijirss.com)



مقاله مروری

## سیستم های پمپ حرارتی: یک بررسی کوتاه

محمد عمر تیموری<sup>1\*</sup>، فرانتشیک وران ای<sup>2</sup>

<sup>1</sup>دانشکده انجینیری، دانشگاه باخترا، کابل، افغانستان

<sup>2</sup>دانشکده انجینیری، دانشگاه تخنیک کوشیتسی، کوشیتسی، جمهوری سلواکیا

### خلاصه

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 میرد 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 (CO<sub>2</sub>) و صرفه جویی در هزینه های مصرف انرژی، تأثیر قابل توجهی را به همراه داشته باشند.

**کلمات کلیدی:** پمپ حرارتی، تبخیر کننده، کندانسور، کمپرسور، انتقال انرژی

### 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 میروند [2].

\*Corresponding author:

E-mail addresses: dean.bce@bakhtar.edu.af

## 1.1 نوع پمپ حرارتی با توجه به نوع ماده

داخل خانه [9]. اجزای اصلی سیستم پمپ حرارتی کمپرسور، انژکتور و دو مبدل حرارتی می‌باشند که به نام تبخیر کننده و کندانسور نیز یاد می‌شوند. این اجزا در مدار بسته به هم متصل می‌شوند. 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 می‌دهد. در سمت اولیه سردی تولید می‌شود و در طرف ثانویه حرارت تولید می‌شود. بنابراین، پمپ حرارتی در هر دو حالت سرد نمودن و گرم نمودن قابل استفاده می‌باشد. پرنسیپ عملکرد آن اعمال قوانین فیزیک می‌باشد [11].

## 1.2 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 پایین تر 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 اطاق منتقل می‌کند - محیط داخل اطاق 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

نوع پمپ حرارتی وابسته است به نوع محیطی که از آن انرژی حاصل می‌شود و نوع محیطی که به آن انرژی انتقال داده می‌شود. پمپ ها از حرارت جمع شده در زمین، هوا و آب استفاده می‌کنند [3]. انواع پمپ ها را می‌توان چنین تشخیص داد: هوا / آب، هوا / هوا، آب / آب، آب / هوا، زمین / آب، زمین / هوا [4]. همین ساختار تجهیزاتی پمپ حرارتی است که امکان جمع آوری حرارت را که درجه حرارت آن پایین می‌باشد و آنرا با بلند بردن درجه حرارت، تهیه آب گرم تأسیسات تسخین مرکزی فراهم می‌نماید [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 می‌باشند [6].

## 2.1 خواص پمپ حرارتی

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

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

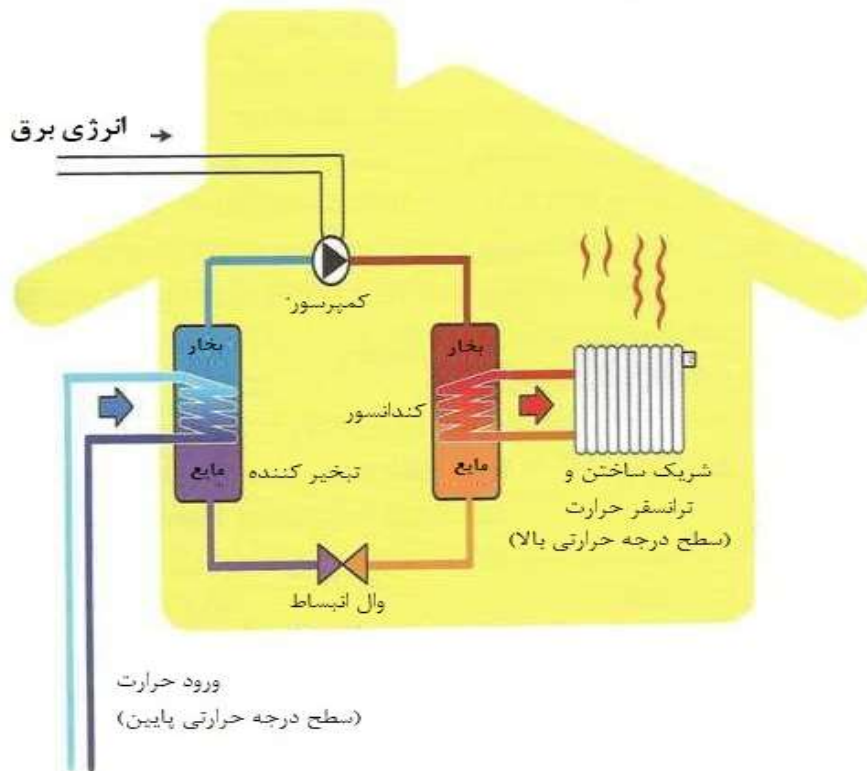
## 3.1 تاریخ پمپ حرارتی

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

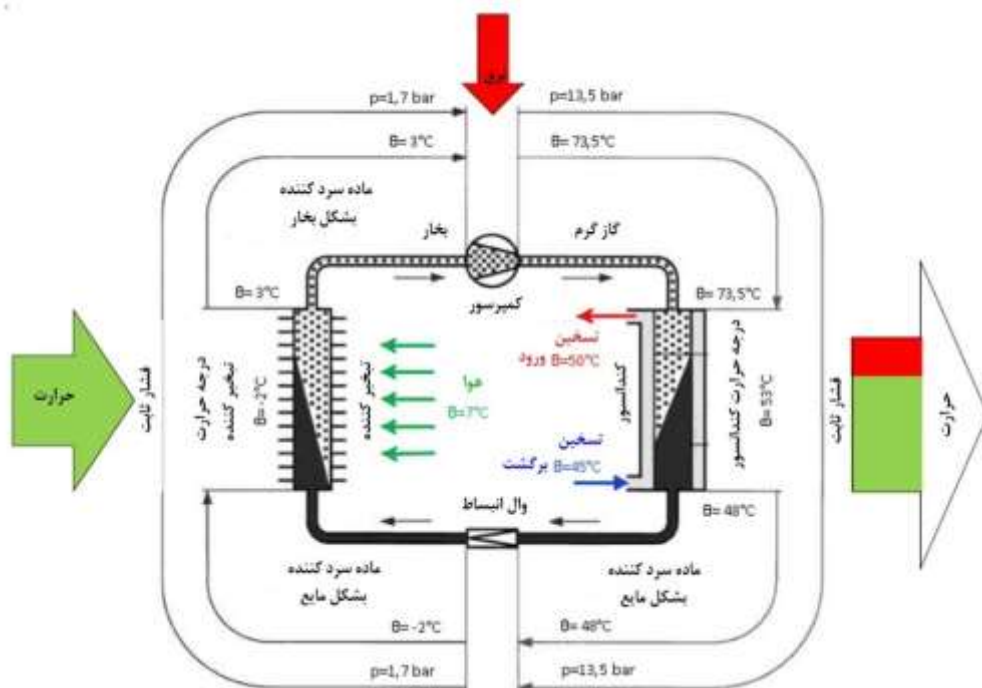
## 2. پرنسیپ کاری پمپ های حرارتی

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

باعث می‌شود که کل انرژی به محیط اطراف آن که در این حالت محیط داخلی اطاق 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].

کندانسور، آنها از طریق دیواره های مبدل کننده با آب سردتر آب تسخین ( $\theta = 50/45^{\circ}\text{C}$ ) در تماس می‌شوند که به وسیله آن گازها کاندنسیشن یا متراکم (condense) گردیده و انرژی حرارتی خود را بدون تغییر فشار تراستفر می‌نمایند ( $\theta = 48^{\circ}\text{C}$  و  $p=13,5 \text{ bar}$ ). در سمت ثانویه، درجه حرارت محیط گرم شده در پمپ حرارتی معمولی در حدود تقریبی  $25^{\circ}\text{C}$  + الی  $55^{\circ}\text{C}$  + می‌باشد. وظیفه وال انبساط انتقال (تزریق) ماده سرد کننده به حالت مایع به داخل لوله تبخیر کننده می‌باشد. پس از پایین آوردن فشار بعد از وال انبساط، درجه حرارت و فشار کاهش می‌یابد ( $\theta = -2^{\circ}\text{C}$  و  $p=1,7 \text{ bar}$ ). این ماده دوباره وارد تبخیر کننده می‌شود و در آنجا با تغییر دادن به حالت گازی، حرارت را از محیط اطراف می‌گیرد. این پروسه سپس تکرار می‌شود. در جدول 1 انواع مختلف ماده های سرد کننده با درجه حرارت نقطه غلیان آنها زیر فشار  $0.1 \text{ MPa}$  و درجه حرارت کاندنسی آن زیر فشار  $2.6 \text{ MPa}$  آمده است. رایج ترین ماده سرد کننده مورد استفاده در پمپ های حرارتی R410A و R407C می باشد [15].

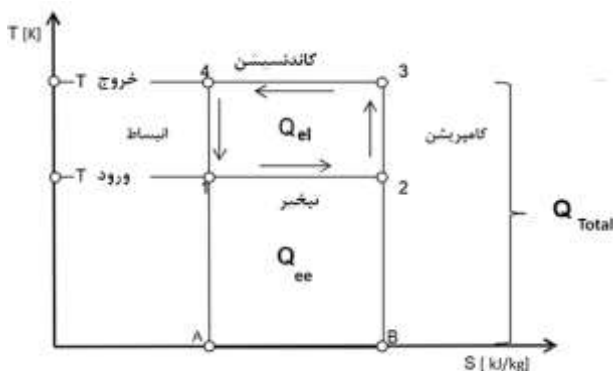
شکل های 1 و 2 فعالیت پمپ حرارتی و جریان های انرژی در یک سایکل کاری به صورت یک نما (schematically) نشان داده شده است. مهم برای این عملکرد خود ماده سرد کننده می‌باشد که با آن سیستم پر می‌شود و در جریان گردش (سایکل) با تغییر حالت خود، امکان ترانسفر انرژی را فراهم می‌نماید. خصوصیات ماده سرد کننده (درجه حرارت نقطه جوش و درجه حرارت به حالت مایع در آمدن در فشارهای خاص) محدوده کاری پمپ حرارتی را تعیین می‌نماید. درجه حرارت بهره برداری معمولی محیط سرد شده در سمت اولیه در حدود  $20^{\circ}\text{C}$  - الی  $25^{\circ}\text{C}$  + می‌باشد [15]. قیمت ها در قوس ها مربوط به شکل 2 می‌شود. ماده سرد کننده موجود در تبخیر کننده، در هنگام عملیه تبخیر حرارت را از همان محیط اطراف خود می‌گیرد ( $\theta = 7^{\circ}\text{C}$ ). محیط سرد شده می‌تواند زمین، آب، هوا باشد. ماده سرد کننده به صورت بخار وارد کمپرسور می‌شود ( $\theta = 3^{\circ}\text{C}$  و  $p=1,7 \text{ bar}$ ). با فشار دادن، فشار گاز ها و درجه حرارت آنها به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد ( $\theta = 73,5^{\circ}\text{C}$  و  $p=13,5 \text{ bar}$ ) در

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

علامت گذاری	نام	نقطه غلیان تحت فشار 1 bar (0,1 MPa)	درجه حرارت مایعات کاندنسی تحت فشار 26 bar (2,6 MPa)
R 12	دیکلوروفلئورومتان	$-30^{\circ}\text{C}$	$86^{\circ}\text{C}$
R143a	پنتر فلورین 1,1,1,2	$-26^{\circ}\text{C}$	$80^{\circ}\text{C}$
R290	پروپان	$-42^{\circ}\text{C}$	$70^{\circ}\text{C}$
R4040A	مخلوط فلوروکربن	$-47^{\circ}\text{C}$	$55^{\circ}\text{C}$
R407C	مخلوط فلوروکربن	$-45^{\circ}\text{C}$	$58^{\circ}\text{C}$
R410A	مخلوط فلوروکربن	$-51^{\circ}\text{C}$	$43^{\circ}\text{C}$
R600A	بوتان	$-12^{\circ}\text{C}$	$114^{\circ}\text{C}$
R717	آمونیاک	$-33^{\circ}\text{C}$	$60^{\circ}\text{C}$
R744	R744	$-57^{\circ}\text{C}$	$-57^{\circ}\text{C}$
T1070	پروپن	$-48^{\circ}\text{C}$	$61^{\circ}\text{C}$

### 3.2 سایکل کاری پمپ حرارتی

از لحاظ فیزیکی، این پروسه را می‌توان با سایکل کارنوت\* شرح کرد. در سایکل کاری کمیت اصلی درجه حرارت و آنتروپی (بیان وضعیت انرژی) وارد می‌شود و اجازه می‌دهد که موثریت بهره برداری پمپ حرارتی محاسبه شود. سایکل Carnot، یا پروسه Carnot یک دوران حرارتی ایده آل است که از تغییرات برگشت پذیر (دو آدیبات و دو ایزوترم) تشکیل شده است که در بین دو ظرف با درجه های حرارت مختلف صورت می‌گیرد.



شکل 3. نمایش گرافیکی سایکل کاری نظری پمپ حرارتی

[16,14].

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 ( $\epsilon$ ) یا ضریب عملکرد (COP) نامیده می‌شود [18]. فاکتور تسخین یک عدد بدون بعد است و با رابطه زیر بیان می‌شود (معادله 2):

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

از آنجاییکه:

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

#### مثال اول

درجه حرارت آب چاه  $T_{input} = +10^{\circ}C$   
 درجه حرارت سیستم تسخین رادیاتوری  $T_{output} = +50^{\circ}C$   
 $\epsilon = T_{output} / (T_{output} - T_{input}) = (273+50) / ((273+50)-(273+10)) = 323 / 40 = 8,08$

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  $T_{input} = +10^{\circ}C$ ، درجه حرارت سیستم تسخین مرکزی کفی  $T_{output} = +30^{\circ}C$   
 $\epsilon = T_{output} / (T_{output} - T_{input}) = (273+30) / ((273+30)-(273+10)) = 303 / 20 = 15,15$

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،

**شکل 3** دیگرام سایکل کاری پمپ حرارت را نشان می‌دهد که به بنام سایکل کارنوت دستگاه نیز گفته می‌شود. سایکل کاری ایده آل نظر به تیر های کشیده شده دنبال می‌گردد. تبادل حرارت بین ماده کاری در حال کار و مخازن، هنگامی وقوع می‌یابد که رویداد ایزوترمال انجام می‌شود، همانطوریکه در نقاط 4، 3 و 2، 1 نشان داده شده است. نقاط علامت گذاری شده 3، 2 و 1، 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 ایزوترمالی 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 سایکل کاری، جهت کامپریشن ارایه می‌گردد [16]. در شکل 3 این مقادیر فیزیکی نشان داده شده است:

$T$  درجه حرارت مطلق با واحد اندازه گیری،  $S$  (K) آنتروپی (کمیت متغیر، در این حالت ما، انرژی) با واحد اندازه گیری  $Q$  ( $kJ / kg$ ) مقدار انرژی با واحد اندازه گیری ( $kWh$ ). آنتروپی یک کمیت متغیر است که تغییر آن به حالت‌های شروع و پایان بستگی دارد. در تبدیل های انرژی ناشی از ضایعات منجر به انحطاط انرژی و افزایش آنتروپی می‌شود. انحطاط (دژنراسیون) را می‌توان از دست دادن توانایی انجام کار دانست. انرژی از دست داده شده ضایع و بی فایده می‌شود.

#### ترکیب سایکل کاری ایده آل

چهار فاز سایکل 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 (ایزنتروپیک) (در فشار ثابت)،

3 - 4 کاندنسیشن ایزوترمالی (در درجه حرارت ثابت)،

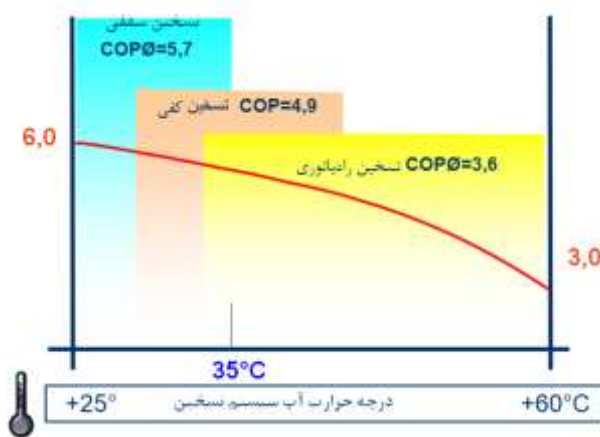
4 - 1 انبساط آدیباتیکی (ایزنتروپی) (در فشار ثابت).

مجموع انرژی عرضه شده از پمپ حرارتی به سیستم با استفاده از معادله 1 بدست می‌آید.

$$Q_{Total} = Q_{ee} + Q_{el} \quad (1)$$



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.

### 2,3 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

کمپرسور، خصوصیات فیزیکی ماده سرد کننده، ضایعات فشار در لوله ها و سایر تاثیرات می‌باشد. در رابطه های فوق برای محاسبه  $\epsilon$  باید درجه حرارت ماده سرد کننده تبخیر T<sub>vapour</sub> و کاندنسیشن T<sub>cond</sub> جایگزین شود که با T<sub>input</sub> و T<sub>output</sub> مطابقت ندارند. موثریت واقعی در محدوده  $\epsilon = (3-5)$  بوده و باید با اندازه گیری های طولانی مدت تعیین شود.

### 3. تعیین موثریت حفظ انرژی (کارایی انرژی - energy efficiency) پمپ های حرارتی

#### 1.3 موثریت حفظ انرژی پمپ های 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 (معادله 3).

$$COP = \frac{Qt2}{Qe2} \quad (3)$$

از آنجاییکه Qt2 انرژی حرارتی بدست آمده و Qe2 انرژی عرضه شده در درایف پاور می‌باشد.

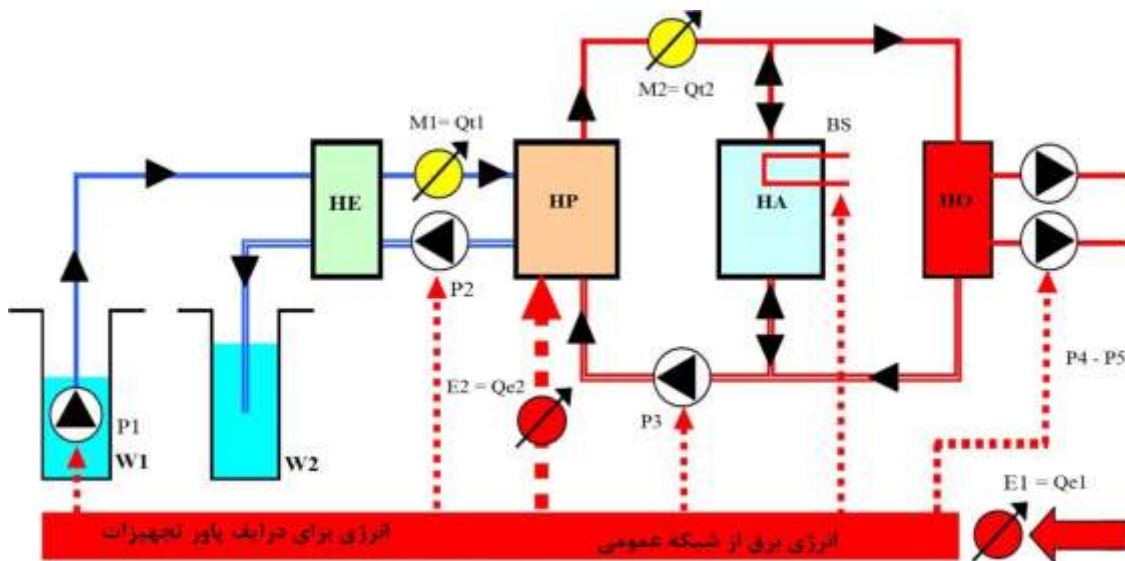
هر قدر که مقدار COP بالاتر باشد، به همان اندازه می‌توانیم مقدار انرژی حرارتی مفید بیشتری را از آنچه انرژی عرضه شده به درایف پاور بوده است بدست بیاوریم. در این صورت پمپ حرارتی دارای موثریت بیشتری می‌باشد. این قیمت غالباً برای مقایسه پمپ های حرارتی که دارای انرژی یکسان عرضه شده به درایف پاور هستند استفاده 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، زمانی که 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 یا 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

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].

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 (معادله 4).

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

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 می‌نمایند.



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

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 می‌باشند:

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 ساختمان 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



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 (معادله 5) [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 می‌نمایند.

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].

### انرژی الکتریکی

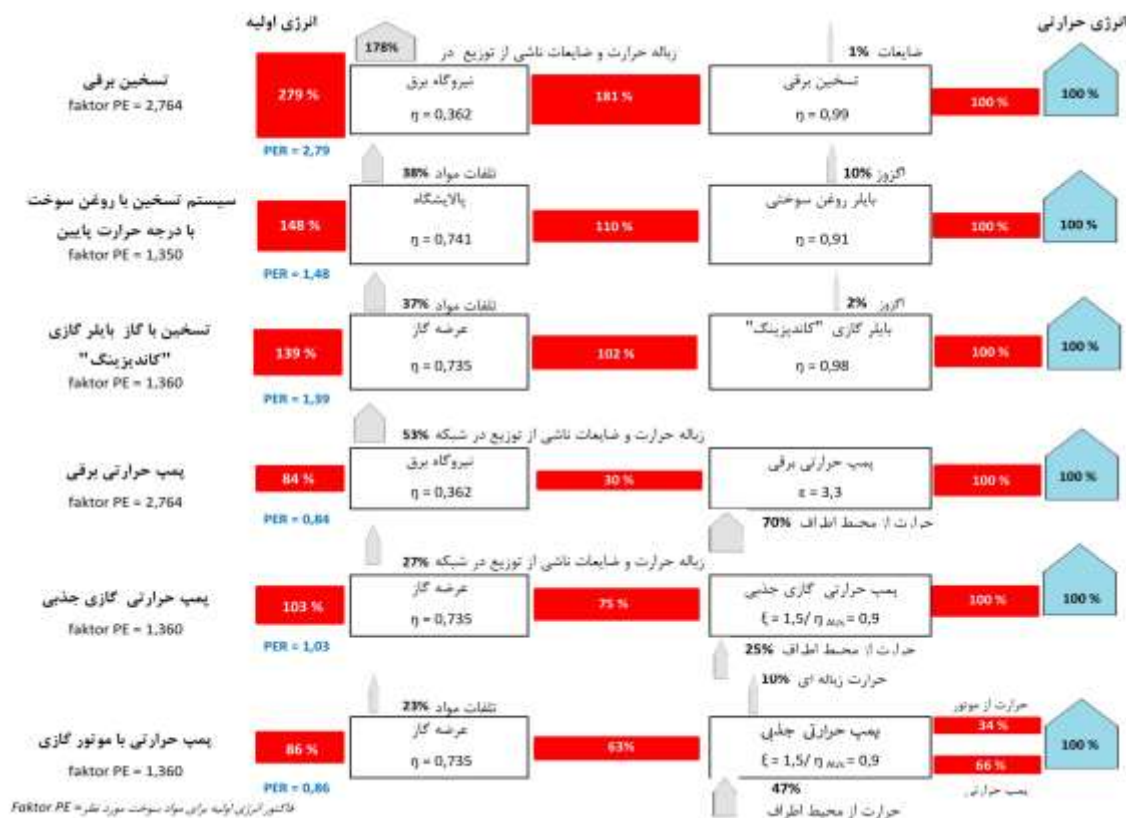
انرژی الکتریکی اندازه گیری شده توسط متر برق E1 = Qe1 (kWh) مصرف شده برای بهره برداری از کل سیستم (تجهیزات پمپ های حرارتی، پمپ های P1- P5، BS منبع دو ظرفیتی آب گرمی برقی)، Qe2 انرژی الکتریکی اندازه گیری شده توسط متر برق E2 (kWh) مصرف شده در پمپ حرارتی برای بهره برداری از آن.

### انرژی حرارتی

انرژی حرارتی اندازه گیری شده توسط متر حرارت M1 = Qt1 (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 PER (Primary Energy Rate)، که کارایی سیستم



شکل 6. مصرف انرژی اولیه برای سیستم های مختلف ترانسفر حرارت [14].

ترانسفر می‌باشد. البته آنها تحت تأثیر نرخ های متفاوتی قرار می‌گیرند، از آنجاییکه قیمت واحد تحت تأثیر بسیاری از عوامل چون: عمده فروشی، پرچون فروشی، عرضه کننده مربوطه، قیمت توزیع، هزینه های اتصال دائمی و غیره قرار می‌داشته باشند. بنابراین قیمت گذاری باید در همان شرایط وجود آمده تجدید نظر شود [24]. سیستم های پمپ حرارتی را می‌توان به عنوان یک گزینه کارآمد و مقرون به صرفه برای سیستم های معمولی برای ارائه خدمات گرمایش و سرمایش در ساختمان ها در نظر گرفت [25].

#### 4. نتیجه گیری

هدف مشخص از معرفی نمودن پمپ حرارتی در افغانستان، پایین آوردن مصرف انرژی منابع اولیه (انرژی برق، انرژی حرارتی) می‌باشد. با استفاده از پمپ حرارتی می‌توان با مصرف یک کیلو وات ساعت برق، 4 الی 5 کیلو وات ساعت حرارت را بدست آورد. هر قدر کمتر برق، گاز و زغال سنگ برای تسخین و تهیه مصرف شود به همان اندازه بیشتر می‌تواند منابع انرژی اولیه حفظ شود و از انتشار بیشتر گازهای گلخانه ای جلوگیری صورت بگیرد. تهیه و نشر این مقاله روی دنبال نمودن اهداف فوق الذکر استوار بوده و برای اولین بار در کشور مفکوره استفاده از پمپ حرارتی که از جمله تکنولوژی های مدرن استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر (انرژی طبیعی) می باشد را به شکل علمی به معرفی می‌گیرد.

#### تضاد منافع

مقاله تضاد منافع ندارد.

#### منابع

- [1] K.J. Chua, S.K. Chou, W.M. Yang, *Advances in heat pump systems*, Applied energy, 87, (2010), 3611-3624.
- [2] F. Vranay, Z. Vranayova, D. Ocipova, *Renewable energy source for today situation - geoexchange systems*, 266 no.54, (2009) 99-107.
- [3] J. Knaga, T. Szul, *Analysis of water-water type heat pump operation in a building object*. Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa, 11, (2011) 100-108.
- [4] K. Tucki, M. Sikora, M. Karlikowska, W. Bedkowski, *Selected issues of the technical*

از آنجاییکه:  $\eta$  - موثریت تبدیل (ترانسفر شدن) انرژی بدون واحد اندازه گیری،  $\varepsilon$  - فاکتور عملکرد فصلی (SPF) بدون واحد اندازه گیری، PE- فاکتور انرژی اولیه برای مواد سوخت مورد نظر بدون واحد اندازه گیری، PER - درجه استفاده از انرژی اولیه بدون واحد اندازه گیری می‌باشند. در شکل 6 مصرف انرژی اولیه برای سیستم های تسخین برقی و پمپ حرارتی برقی نشان داده شده است. تسخین برقی: نیاز انرژی حرارتی برای ساختمان 100% می‌باشد. موثریت تبدیل انرژی الکتریکی به حرارت در ساختمان با موثریت  $\eta$   $99\% =$  همراه می‌باشد. ضایعات برق  $= 1\%$ ، ما باید  $101\%$  انرژی را به ساختمان عرضه نماییم. اوسط موثریت در تبدیل و توزیع آن از نیروگاه برق الی محل اخذ-  $\eta = 0.362$  می‌باشد. توسط قیمت معکوس فاکتور انرژی اولیه بیان شده است  $(PE = 1/0,362 = 2,764)$ . برای بدست آوردن  $101\%$  انرژی الکتریکی یک ساختمان، ضایعات انرژی آن  $= 178\%$  می‌باشد. انرژی مورد نیاز که توسط مواد سوختی می‌تواند عرضه شود  $= 279\%$  می‌باشد. قیمت /  $PER = 279\%$  (PER = 2,79)  $100\% =$  می‌باشد. در جدول، این قیمت نظر به سایر سیستم ها، نا مطلوب ترین قیمت می‌باشد. پمپ حرارتی برقی: در مقایسه با سیستم تسخین الکتریکی مستقیم، ارزیابی انرژی برق سیستم تسخین توسط پمپ حرارتی آب / آب با قیمت  $SPF=3,3$  به طور قابل توجهی مطلوب تر می‌باشد. دلیل این امر این باشد که فقط  $30\%$  از انرژی به شکل برق نیاز ساختمان را از لحاظ مصرف انرژی برای تسخین تأمین می‌نماید. تفاوت الی  $100\%$  از انرژی حاصل شده از یک منبع تجدید پذیر (حرارت از آب، زمین یا هوا، ...) تشکیل شده است. مقدار PER  $0.84 =$  باعث می‌شود تا پمپ حرارتی از نظر تقاضای انرژی اولیه بهترین گزینه قلمداد گردد. در حالت مقایسه ای مطابق به PER، همچنین مبدأ و محل انرژی ورودی مورد استفاده برای درایف پاور پمپ حرارتی هم در نظر گرفته می‌شود. این روند عمدتاً در انرژی برق دیده می‌شود آنهم زمانیکه مواد سوخت مختلف با موثریت های مختلف در هنگام ترانسفر شدن آنها به انرژی برق وارد عمل می‌شوند. در بیلانس همچنین ضایعات انرژی که در هنگام توزیع و استفاده از حرارت بوجود می‌آید نیز شامل می‌گردد، از نظر انرژی اولیه، مقدار انرژی تبدیل شده در مجموع حرارت تعریف می‌شود. بیان فیصدی هر یک از جریان های انرژی و مواد سوختی برای سیستم هایی است که موثریت شان در حد اوسط معمولی می‌باشد. در شکل 6 همچنین تولید گازهای گلخانه ای که از پروسه تحول بوجود می‌آید نیز شامل شده است [23]. عامل تعیین کننده برای بهره برداری، هزینه های انرژی در هنگام عرضه حرارت نظر به به هر یک از سیستم های

- [17] A. Žeravík, Stavíme tepelné čerpadlo, Euro Print, spol. s r. o., (2003).
- [18] M. Stefanco, D. Kosicanova, F. Vranay, M. Kusnir, J. Lojkovics, C. Stone, Heat pumps as a means of efficiency using renewable energy sources, 1, (2014) 267-274.
- [19] M. Kušnir, F. Vranay, P. Kapalo, D. Košičanová, 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, J. Lojkovics, Zero energy balance proposal for office buildings, 3-B, (2014) 259-264.
- [21] M. Jobb, M. Janovcová, M. Malcho, J. Jandačka, Vplyv vonkajšej teploty na prevádzkové parametre plynového tepelného čerpadla v reálnych podmienkach, UNIZA (2010).
- [22] Act No. 86/2019 Coll. 555/2005 Coll. on Energy Performance of Buildings and on Amendments and Supplements.
- [23] M. Štefanco, D. Košičanová, F. Vranay, M. Kušnir, J. Lojkovics, Princíp funkcie sorbčných tepelných čerpadiel, Plynár, vodár, kúrenár, klimatizácia č.5-2014, (2014).
- [24] F. Vranay, Z. Vranayova, Influence of Heat Source Choice on Building Energy Certification Process and CO2 Emissions, Advances in Resource-saving Technologies and Materials in Civil and Environmental Engineering, Springer Nature, (2020) 541-548.
- [25] N. Aste, R.S. Adhikari, M. Manfren, Cost optimal analysis of heat pump technology adoption in residential reference buildings, Renewable Energy, 60, (2013) 615-624.
- [5] G. Floridesa, S. Kalogirou, Ground heat exchanger – a review of systems, models and applications, Renewable Energy, 32, (2007) 2461-2478.
- [6] A. Arsalis, S.K. Kær, 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, 147, (2015) 569–581
- [7] M. Štefanco, D. Košičanová, F. Vranay, M. Kušnir, J. Lojkovics, Princíp funkcie sorbčných tepelných čerpadiel, Plynár, vodár, kúrenár, klimatizácia č.5-2014, (2014).
- [8] M. Kvakovský, L. Dedinská, V. Čáčková, Utilization of heat pumps in building heating system, (2009).
- [9] I. Staffell, D. Brett, N. Brandon, A. Hawkes, A review of domestic heat pumps, Energy & Environmental Science, 5, (2012), 9291–9306.
- [10] J. Pinka, B. Jagerova, Možnosti využitia tepelných čerpadiel pre vykurovanie rodinných domov a bytov, Acta Montanistica Slovaca (2006).
- [11] F. Vranay, Z. Vranayova, M. Kovac, Smart buildings versus ground energy and indoor technologies, 106 no. 5, (2009) 235-240.
- [12] Š. Antal, Termodynamika, STU, Bratislava, (1992).
- [13] J. Pinka, Ekologické a ekonomické zhodnotenie využitia energie z hydrogeotermálnych zdrojov a získavanie energie tepelnými čerpadlami (2017) 100-104.
- [14] M.O. Temori, Heat Pumps (2020), محمد عمر تیموری، پمپ های حرارتی (۱۳۹۹)
- [15] F.Vranay, M. Kusnir, Renewable Energy sources, Kosice, Slovakia, Faculty of Civil Engineering, Technical University of Kosice, (2017).
- [16] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Fyzika, Prometheus (2006).