



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGY INSTITUTE

TEPELNÁ ČERPADLA ZEMĚ-VODA

GROUND SOURCE HEAT PUMPS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

FRANTIŠEK NYKL

Ing. PAVEL CHARVÁT, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): František Nykl

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Tepelná čerpadla země-voda

v anglickém jazyce:

Ground source heat pumps

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Tepelná čerpadla prošla v posledních dvou desetiletích mohutným vývojem a v mnoha zemích se dočkala značného rozšíření. Existuje celá řada různých typů tepelných čerpadel, ale ne všechny typy jsou stejně vhodné pro různé klimatické a provozní podmínky.

Cíle bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce je provést rešerši v oblasti tepelných čerpadel země-voda, která bude zahrnovat používané principy, koncepční řešení a dosahované topné faktory. Práce bude také obsahovat konkrétní příklady použití tepelných čerpadel země-voda.

Seznam odborné literatury:

Knihy a odborné časopisy zabývající se problematikou tepelných čerpadel.
Materiály výrobců tepelných čerpadel.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Charvát, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 24.10.2011



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce popisuje a charakterizuje tepelná čerpadla země-voda. Obsahuje také souhrn ostatních druhů tepelných čerpadel z hlediska principu, získávání energie a ekologičnosti. Čtenář je seznámen s historií, komponenty a s příkladem použití tepelného čerpadla v praxi.

KLÍČOVÁ SLOVA

tepelné čerpadlo, topný faktor, nízkopotenciální zdroj

ABSTRACT

This bachelor thesis describes and characterizes the ground source heat pumps. It also contains a summary of other types of heat pumps in terms of principle, the acquisition of energy and environmental performance. The reader is acquainted with the history, components and an example of the use of heat pumps in practice.

KEY WORDS

Heat pump, coefficient of performance, source of low potential

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NYKL, F. Tepelná čerpadla země-voda. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 47 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Charvát, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

*Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **TEPELNÁ ČERPADLA ZEMĚ-VODA** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a parametrů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.*

V Brně dne:

*.....
František Nykl*

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Pavlu Charvátovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Obsah

1	ÚVOD	14
2	POČÁTKY TEPELNÝCH ČERPADEL	15
2.1	<i>HISTORIE VE SVĚTĚ</i>	15
2.2	<i>HISTORIE U NÁS</i>	15
2.3	<i>PRVNÍ PROTOTYP</i>	16
2.4	<i>PRVNÍ TEPELNÉ ČERPADLO</i>	16
3	PRINCIP A FUNKCE	17
3.1	<i>PRÁCE A VYUŽITELNOST ZDROJŮ</i>	17
3.2	<i>EFEKTIVITA</i>	17
4	TERMODYNAMIKA A KOMPONENTY TEPELNÝCH ČERPADEL	19
4.1	<i>ZÁKLADNÁ POJMY</i>	19
4.1.1	<i>Topný faktor</i>	20
4.2	<i>OBEČNÉ SCHÉMA TEPELNÉHO ČERPADLA</i>	21
4.3	<i>TERMODYNAMICKÝ CYKLUS TEPELNÉHO ČERPADLA</i>	21
4.3.1	<i>Popis T-s diagramu</i>	22
4.3.2	<i>Tepelný cyklus</i>	22
4.3.3	<i>Průběh teplot v kondenzátoru a výparníku</i>	23
4.4	<i>TYPY KOMPRESORŮ</i>	24
4.4.1	<i>Tepelné čerpadlo s pístovými kompresory</i>	24
4.4.2	<i>Tepelné čerpadlo se spirálovými kompresory (SCROLL)</i>	24
4.5	<i>POROVNÁNÍ VÝKONŮ PÍSTOVÉHO A SPIRÁLOVÉHO KOMPRESORU</i>	25
4.5.1	<i>Tepelné čerpadlo s rotačními kompresory</i>	25
4.5.2	<i>Tepelné čerpadlo se šroubovými kompresory</i>	25
4.6	<i>CHLADIVA</i>	25
4.6.1	<i>Vlastnosti chladiv</i>	25
4.6.2	<i>Bezpečnost práce</i>	26
5	ZDROJE TEPLA PRO TEPELNÉ ČERPADLO	27
5.1	<i>OKOLNÍ VZDUCH</i>	27
5.2	<i>ODPADNÍ VZDUCH</i>	27
5.3	<i>POVRCHOVÁ VODA</i>	27
5.4	<i>PŮDA</i>	28
5.4.1	<i>Horizontální kolektor plošný</i>	29
5.4.2	<i>Horizontální kolektor výkopový</i>	30
5.4.3	<i>Hlubinné vrty</i>	31
5.4.4	<i>Výhody a nevýhody</i>	34
6	TYPY PROVOZU A ZAPOJENÍ TEPELNÝCH ČERPADEL	35
6.1	<i>BOD BIVALENCE</i>	35
6.2	<i>MONOVALENTNÍ PROVOZ</i>	35
6.3	<i>BIVALENTNÍ PROVOZ</i>	35
6.4	<i>MONOENERGETICKÝ PROVOZ</i>	37
7	NÁVRH TEPELNÉHO ČERPADLA V PROGRAMU SOLKANE 22	38
7.1	<i>PŘEDVOLENÉ CYKLY TEPELNÝCH ČERPADEL</i>	38
7.2	<i>VSTUPNÍ PARAMETRY</i>	39

7.2.1	Chladiva.....	39
7.2.2	Výparník a srážník.....	39
7.3	VÝSTUPNÍ PARAMETRY.....	40
7.3.1	Hodnoty chladiva.....	40
7.3.2	Topný faktor a výkony komponentů	40
7.3.3	Vykreslení v T-S diagramu	41
8	PŘÍKLAD INSTALACE TČ V RODINNÉM DOMĚ S TEPELNOU ZTRÁTOU 6 KW	41
8.1	TECHNICKÉ ŘEŠENÍ	41
8.2	INVESTIČNÍ NÁKLADY	41
8.3	PROVOZNÍ NÁKLADY	42
8.4	NÁVRATNOST INVESTICE.....	43
9	ZÁVĚR.....	44
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	45
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	47

1 Úvod

V dnešní době je pro nás energie nepostradatelnou součástí života. Energií obecně jsme všichni obklopeni každý dne. Díky tomu, a stále rostoucím požadavkům na ekologii, se ceny energií neustále zvyšují a to hlavně v důsledku zvýšení cen ropy, dřeva, zemního plynu a uhlí.

Zpracováním právě těchto surovin získáváme elektrickou a tepelnou energii nutnou pro vytápění a ohřev teplé užitkové vody (TUV) v našich domovech. Z toho vyplývá, že jsme každý z nás na tepelné energii závislý a chceme ji zajistit nejen pro sebe, ale hlavně pro svou rodinu. Co se ale stane, když budou tyto zdroje tepelné energie vyčerpány, z jiného důvodu jejich dodávky zastaveny nebo se jejich ceny vyšplhají na takovou částku, která již nebude pro průměrnou českou rodinu únosná?

I toto je zapotřebí zohlednit a proto se nejenom v našem státě stále rozrůstá poptávka po tepelných čerpadlech (TČ) spadajících do problematiky obnovitelných zdrojů energie. Přesto většinu lidí může odradit prvotní investice. To se vykompenzuje jeho ekonomickou návratností. I na toto téma vznikali názory, že se tepelné čerpadlo za celou dobu své životnosti nezaplatí. To platilo před lety, kdy ceny energií nebyly ještě tak vysoké jako doposud. Nahlédněme například do západních zemí Evropy, zjistíme, že ekonomická návratnost tepelných čerpadel činí 5-6 let. Můžeme to očekávat i u nás, závisí to především na výši cen energií, možnosti dotace a účinnosti agregátu. I tepelná čerpadla potřebují pro svůj chod ve většině případů elektrickou energii zejména pro pohon kompresoru a oběhových čerpadel, zbytek energie využívají z prostředí. Ušetří až 80% nákladů a tím zajišťuje rychlý návrat počáteční investice. Je možnost ho urychlit dohodou s rozvodovou společností na výhodné dvoutarifní sazbě za dodávku elektrické energie. Tepelná čerpadla tedy využívají přírodní nízkopotenciální energii, která minimalizuje zátěž životního prostředí.

2 Počátky tepelných čerpadel

2.1 Historie ve světě



Obr. 1 - William Thomson
[2]

Jako první myšlenku tepelného čerpadla popsal ve své druhé termodynamické větě (ta má několik částí, tou nejdůležitější pro očekávanou funkci tepelného čerpadla je tvrzení, že teplo postupuje ve směru od teplejší ke studenější části, respektive se teplo předává) v roce 1852 lord Kelvin (William Thomson), jeden z nejvýznamnějších fyziků. [1] [2]

1873 - Karl von Linde postavil v Mnichově první chladicí stroj s amoniakem používaným jako chladivo.

1912 - První patent na tepelná čerpadla byl vydán ve Švýcarsku. Zdejší inženýr Heinrich Zoelly, zabývající se do té doby navrhováním turbín, byl první, kdo navrhl elektricky poháněný podzemní stroj (tepelné čerpadlo) pro výrobu tepla při nízké teplotě. Za tuto práci získal švýcarský patent 59350.

1930 – Systém tepelného čerpadla byl použit pro osvětlení sídla New Heaven v Connecticutu.

1938 – První velké tepelné čerpadlo postavené v Zurichu. To využívalo teplo vody z řeky.

Během 20. století probíhalo další rozšiřování využití tepelných čerpadel po celém světě jak v průmyslových objektech, tak i v domácnostech. [3]

2.2 Historie u nás

Rozvoj tepelných čerpadel v tehdejší Československu se započal později než ve světě: „V bývalém Československu byla první tepelná čerpadla osazena již v 50. a 60. letech 20. století, jednalo se však o ojedinělé akce. K prvním rozsáhlejšími pokusům o jejich využití došlo až v první polovině 80. let, kdy byla instalována řada tepelných čerpadel z dovozu. Od poloviny 80. let pak byly k dispozici i první stroje tuzemské výroby, mnohdy pozoruhodných výkonů. Od počátku 90. let 20. století nastal výrazný rozvoj využití tepelných čerpadel. Ten

před několika lety dospěl do té fáze, že bylo vhodné z řady důvodů zahájit podrobnější statistické sledování.“ [4]

2.3 První prototyp

První tepelné čerpadlo sestrojil americký vynálezce Robert C. Werber, na konci 40. Let minulého století. Stalo se tomu tak zcela náhodou, když prováděl pokusy s hlubokým zmražením a omylem se popálil při dotyku výstupního potrubí chladícího zařízení. To u něj probudilo první myšlenku o principu tepelného čerpadla. Jeho další pokus vedl k zapojení výstupu mrazáku s bojlerem. Jelikož i tak docházelo k přebytku tepla, vyvedl potrubí ve smyčce až k ventilátoru a vhněl tak teplý vzduch do místnosti.

Následoval pokus s využitím nízkopotenciálního tepla ze země v podobě zemního kolektoru. Pokus byl natolik úspěšný, že tuto metodu vytápění začal vynálezce běžně používat ve své domácnosti. [1]

2.4 První tepelné čerpadlo

Světovým mezníkem byla instalace tepelného čerpadla v Zurichu pro tamní radnici společností Eschera Wyss. Tento systém byl navržen firmou Heinrich Lier v Zurichu. Důvod instalace tepelného čerpadla bylo nahrazení vytápění na tuhá paliva z důvodu nedostatku prostoru pro jejich uskladnění. Z počátku se uvažovalo o vytápění lehkým topným olejem, svítiplynem nebo elektřinou. Však díky nedostatku nabídky uhlí a ropy, kterou měly na starosti zkušenosti z první světové války, se rozhodlo pro elektřinu. Proto v roce 1937 Escher Wyss navrhl energeticky účinné tepelné čerpadlo za cca 24 000 švýcarských franků. Toto čerpadlo využívalo teplo z vodního toku řeky Limmat a průměrnou teplotou kolem 7°C. V průběhu topné sezony jej považoval za ideální zdroj tepla. Jmenovitý topný výkon tepelného čerpadla byl 100kW. Budovu bylo možno vytápět médiem o teplotě až 60°C. Byla zde instalována i čtveřice trojcestných ventilů (v Evropě novinkou), díky kterým bylo možné v letním období přepnout na proces chlazení, čili obrácený cyklus. Chladivo bylo použito R-12 a celý systém se spustil v roce 1938. [5]



Obr. 2 – Radnice v Zurichu na řece Limmat. (Zdroj: [5])

3 Princip a funkce

Tepelné čerpadlo k ohřevu budovy využívá nízkopotenciální energii z okolí, jako například obyčejná chladnička. Ta odebírá teplo potravinám a předává ho do okolí pomocí tmavé spirály na své zadní straně. Neustále tak vytápí naši kuchyni. Představuje tak obrácený tepelný cyklus. Pokud bychom ji ale posadili do místa okenního otvoru otevřenými dvířkami ven a zadní stranou do místnosti, odebírala by teplo z exteriéru a předávala by ho do interiéru. Docílili bychom tak tepelného čerpadla typu vzduch-vzduch. Na tomto principu pracují i skutečná tepelná čerpadla, v jiném provedení, uzpůsobeným konvenčním požadavkům na bydlení. Využívají teplo nejenom z venkovního vzduchu, půdy v okolí domu a podzemní vody, ale i z jiných zdrojů. [6] [7]

3.1 Práce a využitelnost zdrojů

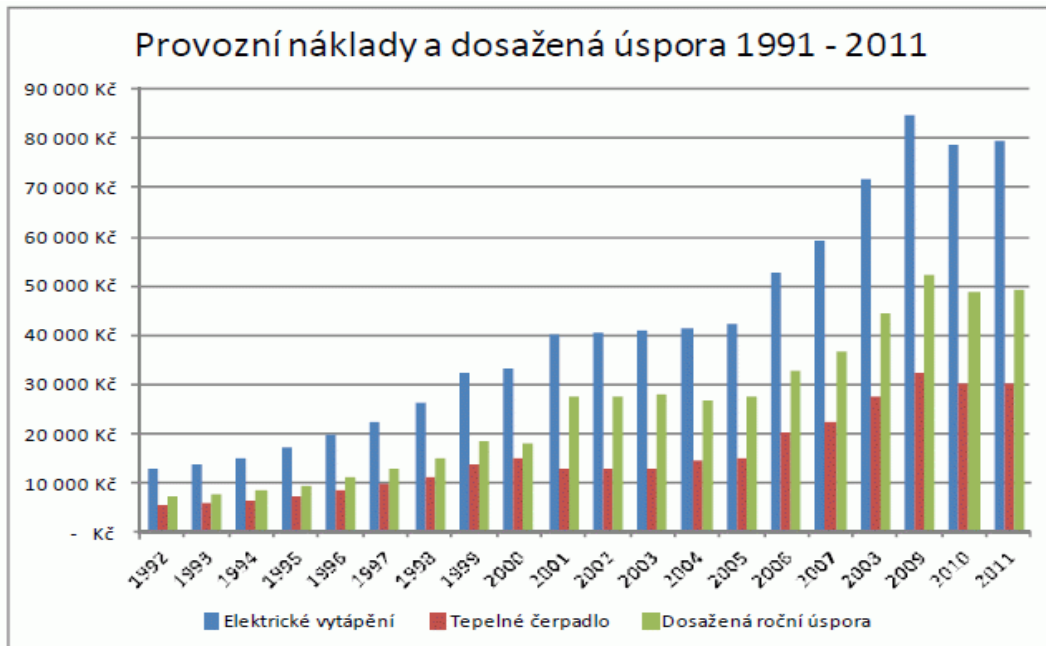
Jak lze jednoduše popsat práci tepelného čerpadla? Zde je zapotřebí nahlédnout do oblasti fyziky, která nám říká, že pro získání energie potřebujeme určitou počáteční podmínku a že energii nelze zničit. Funkce tepelného čerpadla se neodvíjí pouze od této slovní formulace, je zapotřebí se zmínit ještě o jednom zákonu, na kterém je postaven celý jeho princip - o druhém zákonu termodynamiky. Ten nám říká, že teplo nemůže samovolně přecházet z tělesa chladnějšího na těleso teplejší. Toto samozřejmě platí i v našem případě, i když tepelné čerpadlo teplo přečerpává a to z nízkoenergetického zdroje za pomoci pracovní látky (média). Aby neporušovalo zákony fyziky, což samozřejmě nelze, využívá ke své práci energii jinou a to elektrickou. Tak slouží pro pohon kompresoru, který je srdcem celého mechanismu. Jak to tedy celé funguje?

V zemi, vzduchu a ve vodě je obsaženo nesmírné množství energie, ale však o nízké teplotní hladině, která nám neumožňuje vytápět ani ohřev teplé užitkové vody. Pro to aby pro nás byla tato energie k užitku, musíme docílit vyššího tepla. Prakticky zdroj nízkopotenciálního tepla ochladíme, čímž docílíme přenosu tepla mezi ním a pracovní látkou celého systému. Tu potom za pomoci tepelného čerpadla přečerpáme na vyšší teplotu, s kterou již můžeme vytápět nebo ohřívat teplou užitkovou vodu. [6]

Jako konkrétní příklad můžeme předvést opět na domácí chladničce. „Z vodovodu natočíme 50 litrů vody a vložíme jí do ledničky. Zde se ochladí z 10°C na 5°C. K tomu chladnička spotřebuje 0,15 kWh elektrické energie. Do okolního prostředí pak vydá teplo odebrané vodě zvětšené o spotřebovanou elektrickou energii, na druhé straně vystupuje teplo vhodné pro další použití. Dohromady tedy 0,5 kWh, které ušetříme za vytápění“ [6]

3.2 Efektivita

Uživatelé tepelných čerpadel jsou za dvacet let provozu schopni ušetřit při platbách za energii 500 až 600 tisíc korun, v závislosti na porovnávaném zdroji tepla. Je ale zapotřebí si uvědomit, že vpřed dvaceti lety byly ceny za energii daleko nižší, než je tomu dosud, proto dosahované úspory nebyly tak vysoké jako dnes. Pokud by ale dnešní ceny zůstaly po dvacet let neměnné, dosáhli bychom v průměru až milionové úspory. [8]



Obr. 3 – Provozní náklady a dosažená úspora 1991-2011 [8]

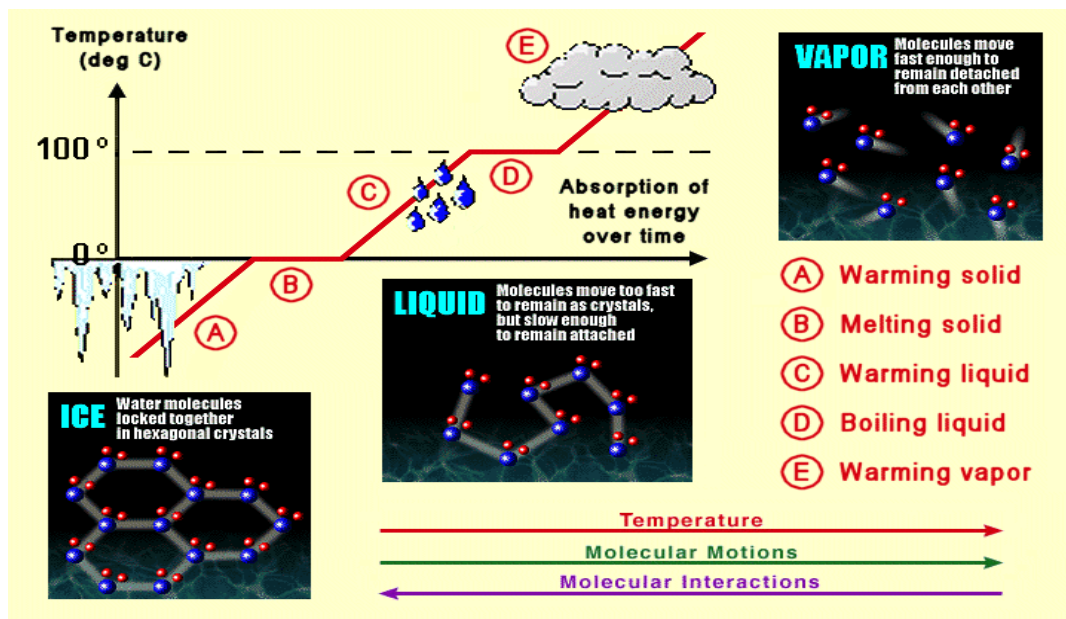
„Graf ukazuje provozní náklady domu při vytápění elektřinou a tepelným čerpadlem země/voda v letech 1991 až 2011. Z grafu jsou patrné dva hlavní trendy: Zvyšování cen energie pro elektrické vytápění, kdy z původních 0,48 Kč/kWh v roce 1991 vyrostla cena na 2,95 Kč/kWh v roce 2011 (cena obsahuje i paušální platby). Druhým, důležitějším trendem je zvyšování úspory dosažené tepelným čerpadlem. Zatímco v roce 1991 tepelné čerpadlo ušetřilo 7 230 Kč o 20 let později to samé tepelné čerpadlo ve stejném domě, dosahuje úspory okolo 50 000 Kč/rok.“ [8]

4 Termodynamika a komponenty tepelných čerpadel

4.1 Základná pojmy

Tepelná energie je nesynchronizovaný náhodný pohyb molekul. Molekuly jedné látky narážejí do molekul druhé látky a jejich kinetická energie se mění na tepelnou. Měřítkem jejich rychlosti je výsledná teplota. Tepelnou energii předává vždy těleso teplejší chladnějšímu. [9]

Latentní teplo je energie, kterou je nutno dodat pro změnu fáze látky za konstantní teploty, čili překonání molekulární interakce. Stručněji, latentní teplo je energie potřebná pro změnu skupenství látky. Představme si například kostku ledu, která je ohřívána externím zdrojem tepla. Ačkoliv molekuly ledu obsahují určitou tepelnou energii, jejich vibrace dostačují tomu, aby překonaly molekulové interakce, které drží pohromadě v pevné struktuře. Tepelná energie je absorbována ledem. Molekuly vibrují rychleji v tuhém stavu a tak teplota stoupá. Jakmile teplota dosáhne 0°C dojde ke změně fáze, neboli led začne tát. V tuto chvíli se teplota zastaví a začne vzrůstat až do ukončení fázové přeměny. Důvodem je, že molekuly mají dost vibrační energie, aby jakékoliv dodané teplo dopomohlo ke změně pevné látky na kapalný stav. To samé platí i u druhé fázové přeměny. [9]



Obr. 4 – Změny teploty a fáze kostky ledu v závislosti na teplotě a času [9]

Tepelný výkon je výkon obsažený v teplé vodě (vzduchu) a výstupu tepelného čerpadla. Je součtem energie elektrické i energie získané z nízkopotenciálního zdroje tepla.

Chladicí výkon určuje množství tepla v čase odebrané nízkopotenciálnímu zdroji tepla

Elektrický příkon je množství energie, které je nezbytné pro zajištění chodu celého systému

4.1.1 Topný faktor

Jedná se o hodnotu poměru mezi množstvím vyrobené energie a energie vložené. Jedná se tedy o rozdíl topného výkonu a elektrického příkonu. Obecně platí vztah:

$$\varepsilon_{\varepsilon} = \frac{Q_k}{N_{el}}$$

Čím je topný faktor vyšší, tím je vyšší i celková účinnost tepelného čerpadla. Lze tak podle něj určovat kvalitu systému a celkovou efektivitu. Obvykle se v praxi pohybujeme okolo hodnot 2,5-3,5. [6]

Hodnota topného faktoru není však stabilní za všech podmínek. Topný výkon a topný faktor jsou výrazně závislé na provozních podmínkách tepelného čerpadla. Rozumíme tím teplotu nízkopotenciálního zdroje, pracovní teplotu systému a v neposlední řadě teplotu otopného systému.

Tuto závislost lze vyjádřit pro topný faktor takto:

$$\varepsilon_H = \text{COP}_H = \frac{|q_H|}{|q_H| - q_C}$$

Tento vzorec slouží pro přesný výpočet topného faktoru. Hodnota q_H značí tepelný tok předávaný otopné soustavě a q_C tepelný tok získávaný z nízkopotenciálního zdroje (viz. obr. 5). Jelikož se teplo předává, izobaricky vyjde nám z termomechanického zákona znějícího:

$$dq = dh - v \cdot dp = dh$$

Kde dh je entalpie zobrazená na obr. 6. Podle tohoto schématu při postupování po číslíkových bodech získáme jednotlivé vztahy pro $q_H = h_3 - h_2$, $q_C = h_1 - h_4 = h_1 - h_3$.

Více se, ale v literatuře a obecně v praxi používá daleko jednodušší vzorec, kterým získáme pouze přibližnou hodnotu tepelného faktoru.

$$\varepsilon_{\varepsilon} = 0,4 \frac{t_k + 273}{t_k - t_0}$$

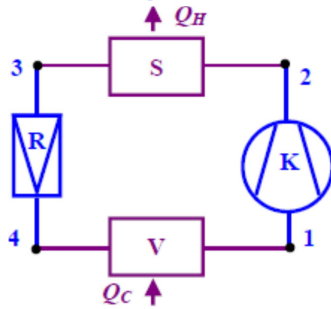
kde t_k [°C] je teplejší teplota na výstupu ze strany teplejšího čerpadla, t_0 [°C] je chladnější teplota na vstupu do tepelného čerpadla a 273 je přepočítání na absolutní teplotní stupnici.

Příklad:

Topný faktor podlahového vytápění je $\varepsilon = 4,9$. Vytápíme jej z 10°C na 35°C. Topný faktor pro radiátorové vytápění z teploty 0°C na 55°C je $\varepsilon = 2,4$. Můžeme tady pozorovat razantní rozdíl hodnot v závislosti na rozdílu teplot.

Obvykle výrobci udávají tzv. „universální hodnotu tepelného faktoru $\varepsilon = 3$ “. Obecně to znamená, že dodáme tepelnému čerpadlu 1 kWh elektrické energie a získáme 3 kWh tepelné energie pro vytápění. [6]

4.2 Obecné schéma tepelného čerpadla

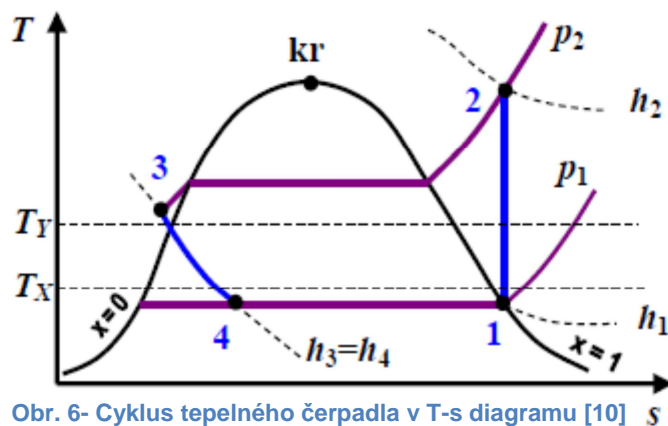


Obr. 5 – Schéma tepelného čerpadla [10]

Ve výparníku (značeného **V**) dojde k vypaření chladiva za nízké teploty a nízkého tlaku. Tím docílíme tak změny fáze z kapalné na plynnou a spotřebuje se teplo Q_c . Toto teplo odebereme právě nízkopotenciálnímu zdroji energie. Poté je chladivo ve formě plynu stlačeno kompresorem **K** na vyšší tlak. Kompresor stlačením dodá chladivu další energii v podobě práce, která je závislá na elektrické energii dodané kompresoru. Natlakované chladivo putuje potrubím do kondenzátoru (srážníku **S**), kde se ochladí tak, že zkondenzuje za stálého tlaku. Tím že vodní pára projde fázovou přeměnou na kapalnou složku, vznikne teplo, které je následně předáno například médiu otopného systému. Ve škrtícím (redukčním) ventilu **R** se sníží tlak chladiva na výchozí hodnotu a cyklus se opakuje. [7]

Tento postup lze demonstrovat i jako tepelný cyklus v T - s diagramu.

4.3 Termodynamický cyklus tepelného čerpadla



Obr. 6- Cyklus tepelného čerpadla v T - s diagramu [10]

Po zanesení cyklu tepelného čerpadla do T - s diagramu lze dokázat hned několik termodynamických dějů, které jsou součástí jeho práce.

4.3.1 Popis T-s diagramu

Vertikální osa diagramu značená „ T “ nám udává teplotu v kelvinech, tj. 273,15 plus teplota v $^{\circ}\text{C}$. Z toho logicky vyplývá, že 0°C je 273,15 K. Horizontální osa „ s “ nám představuje hodnotu entropie.

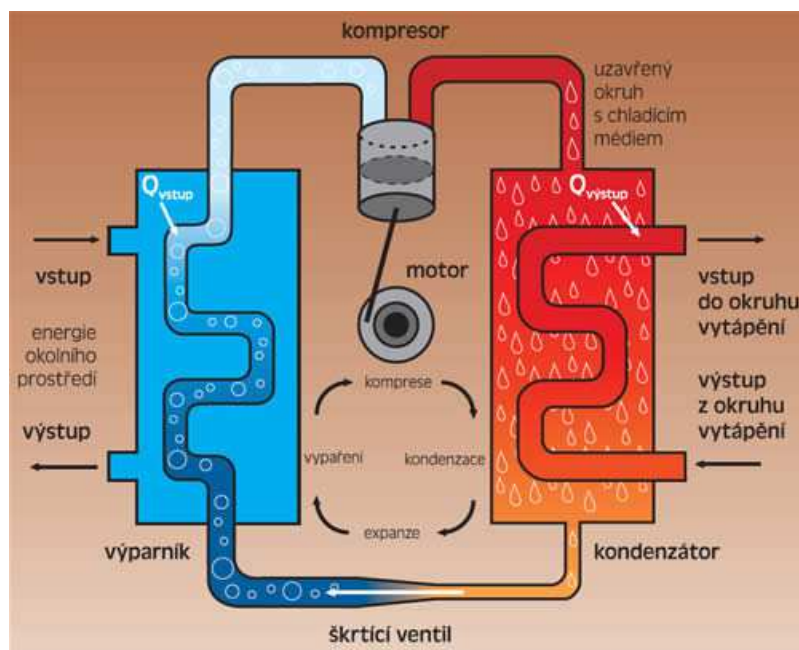
Entropie vychází z druhé zákona termodynamiky a jedná se o stavovou veličinu. Je úměrná teplu předávanému při konstantní teplotě (např. při varu).

„ T_x “ a „ T_y “ jsou teploty nízkopotenciálního zdroje tepla a teploty ohřívané látky. „ h “ značí entalpii, což představuje teplo za konstantního tlaku. „ p “ představuje určitý tlak.

Písmeno „ x “ značí suchost. $X=0$ značí sytou kapalinu a $x=1$ sytou páru. Oblast nalevo za křivkou syté kapaliny je oblastí kapalně fáze. Mezi křivkami je oblast mokré páry a za křivkou syté páry je oblast přehřáté páry. Tepelné čerpadlo pracuje ve všech třech fázích, tuto práci v systému má na starosti chladivo, u kterého neustále probíhají fázové přeměny. [10]

4.3.2 Tepelný cyklus

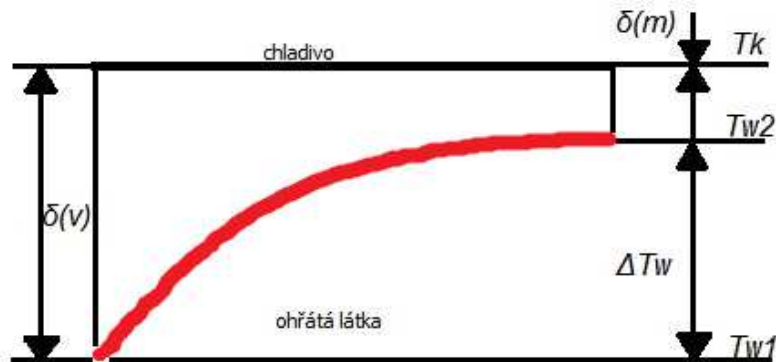
Popis postupuje dle čísel na obr.5 a obr.6. Začneme tedy od pozice jedna, za kterou je chladivo ve formě plynu stlačeno kompresorem. Dochází tak k adiabatické kompresi, čímž docílíme vyšší teploty. Dostáváme se do druhého bodu, kdy teplé chladivo stále v plynné fázi putuje do srážníku. Předává tak izobaricky teplo otopné soustavě a zároveň mění svůj stav z plynu až na kapalinu. Dále chladivo putuje přes regulační ventil, který izoentalpicky snižuje tlak chladiva. Tím docílíme i změny skupenství chladiva z kapaliny do stavu mokré páry. V tomto stavu chladivo vchází opět do země, kde za konstantního tlaku přijímá teplo z nízkopotenciálního zdroje a začíná se vypařovat, čili opět měnit své skupenství. Jakmile dostáhne stavu syté páry opětovně je stlačeno kompresorem a celý cyklus se opakuje.



Obr. 7 – Obecný princip tepelného čerpadla a pístovým kompresorem [11]

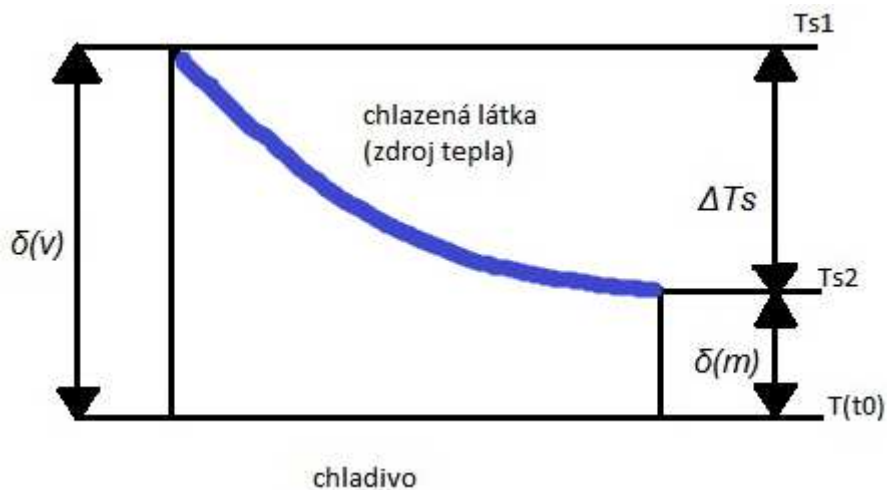
Na obr. 6 lze demonstrovat základní princip tepelného čerpadla spolu s vyjádřením fázové změny chladiva procházející systémem. Je zde názorně znázorněno předávání tepla z okolního prostředí do okruhu vytápění daného objektu.

4.3.3 Průběh teplot v kondenzátoru a výparníku



Obr. 8 – Průběh teplot v kondenzátoru (srážníku)

Na obrázku výše lze demonstrovat kvadratický průběh teplot v závislosti na objemu ohřívané látky. Ta získává teplo z ohřátého chladiva a předává jej například otopné soustavě. Chladivo o vyšší teplotě v plynném stavu vstupuje do spirály, která předává teplo médiu otopné soustavy, ztrácí tím svou tepelnou energii a začíná kondenzovat.



Obr. 9 – Průběh teplot ve výparníku

Obrázek výše popisuje kvadratickou křivku rozdílů teplot v závislosti na objemu chlazené látky. Ta je v tomto případě zdroj tepla čili zdroj nízkopotenciální energie. Tomu je odebráno teplo a předáváno chladivu, které se zde vypařuje. Je to dáno jeho druhem a vlastnostmi, konkrétně teplotou varu. Tato tematika je vysvětlena v kapitole chladiva.

4.4 Typy kompresorů

Nejdůležitější a zároveň nejdražší prvek tepelného čerpadla je kompresor. V tepelném čerpadle není viditelný, jelikož je obvykle hermeticky uzavřen v ocelové nádobě. Můžeme se setkat celkově se čtyřmi nejčastějšími typy.

4.4.1 Tepelné čerpadlo s pístovými kompresory

Jedná se o nejlevnější variantu, která má horší topný faktor a je mírně hlučnější. Životnost pístového kompresoru je 15 let, musí se tedy za dobu životnosti tepelného čerpadla počítat s jeho výměnou a to minimálně jednou. Můžeme se s ním setkat u většiny starších zařízení. [7]

4.4.2 Tepelné čerpadlo se spirálovými kompresory (SCROLL)

Jsou dražší, ale zato dosahují vyšších topných faktorů. V současnosti je jedná o nejpoužívanější typ. V praxi se můžeme setkat s tím, že většina firem zabývajících se výrobou tepelných čerpadel používá

kompresor téhož výrobce. Životnost kompresoru SCROLL se udává v rozmezí 80-100 tisíc provozních hodin, což odpovídá cca 20 let provozu. [7]

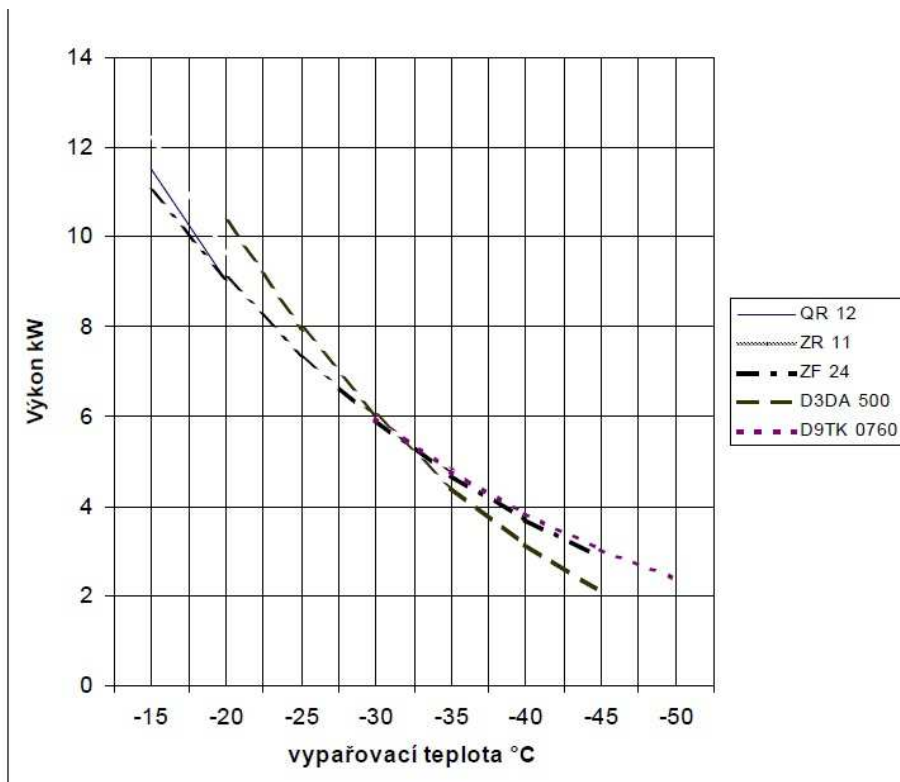


Obr. 10 – Spirálový kompresor SCROLL [12]

Princip funkce kompresoru SCROLL

„Pohyblivá spirála (rotor) se excentricky pohybuje v pevné spirále (rotoru). Tím je vytvořena kapsa, která se pohybuje od obvodu, kde je plyn nasán, směrem ke středu a neustále se zmenšuje. Ve středu spirály je výfukový otvor, kudy stlačený plyn vystupuje. Ve skutečnosti je v každém okamžiku mezi spirálami šest kapes, takže proces sání a výfuku chladiva je téměř plynulý“ [7]

4.5 Porovnání výkonů pístového a spirálového kompresoru



Obr. 11 – Srovnání charakteristik pístových a spirálových kompresorů SCROLL: QR12 – hermetický pístový kompresor, ZR11 – SCROLL kompresor, ZF24 – hermetický kompresor SCROLL, D3DA 500 – polohermetický pístový kompresor, D9TK 0760 – polohermetický dvoustupňový pístový kompresor [12]

4.5.1 Tepelné čerpadlo s rotačními kompresory

V praxi se s nimi setkáme jen zřídka, využívají se spíše v klimatizačních jednotkách. Vhodné pro malé výkony. Nedosahují vysokých topných faktorů. [7]

4.5.2 Tepelné čerpadlo se šroubovými kompresory

Setkáme se s ním v průmyslových a speciálních aplikacích, kde je potřeba vysokých výkonů. Důvodem je vysoká pořizovací cena kompresoru. [7]

4.6 Chladiva

Tepelné čerpadlo využívá skutečnosti, že teplota varu (kondenzace) různých látek závisí na jejich tlaku. Jedná se o pracovní látky, které během provozu prochází nesčetněkrát fázovou přeměnou, můžeme je nazvat chladiva. Práce chladiva v tepelném čerpadle jako termodynamický cyklus je popsána v kapitole „Termodynamický cyklus tepelného čerpadla“, konkrétně v podkapitole „Popis T-s diagramu“.

4.6.1 Vlastnosti chladiv

Postupným vývojem této problematiky se v současné době vyskytuje několik desítek látek, které mají v přijatelném tlakovém i teplotním rozmezí dané vlastnosti. S některými se můžeme běžně setkat v přírodě, jiné jsou synteticky upravované. Známou skupinou jsou

freony, i jiné synteticky upravené látky jako například: oxid uhličitý, čpavek, metan, propan, butan, propylen, etylen a mnoho dalších. Poslední čtyři jmenované látky se používají spíše v chemickém provozu a u tepelných čerpadel se s nimi nesetkáme. Jsou to látky velice hořlavé a výbušné.

S jakým chladivem se ale můžeme setkat v tepelných čerpadlech je čpavek (NH_3). Při atmosférickém tlaku (0,1 Mpa) se vaří již při -33°C . Pokud, ale dojde ke stlačení na 2 Mpa, začne kondenzovat až při 50°C . Pro tyto vlastnosti je vhodný pro použití jako chladivo v tepelných čerpadlech. Jeho nevýhoda je v jeho jedovatosti, proto se s ním v současné době můžeme setkat spíše u chlazení zimních stadionů.

Nejvíce rozšířeným chladivem v současné době jsou freony, konkrétně tzv. „freon“ R22. Můžeme narazit na několik chladiv – směsí - obsahující jeho složku, potom však napadají ozonovou vrstvu Země. Šetrnější k životnímu prostředí jsou tzv. F-plyny, které se značí např.: R134a, R404a, R407a, R410a, R507, R508 atd. Výhodou freonů jsou jejich fyzikální vlastnosti, hlavně nehořlavost a nejedovatost. Jako vhodnou alternativu k freonům lze užít i propan (označení R 290), jež je šetrný k ozónové vrstvě Země. Na druhou stranu je hořlavý, proto se s ním na trhu telených čerpadel moc nesetkáme, jelikož se zákazníci obávají požáru při jeho případném úniku ze systému.

Další několik let spekulovanou možností je použít jako chladivo CO_2 (označení R 744). Pracuje efektivněji a dosahuje vyšších výstupních teplot. Tepelná čerpadla pracující s touto látkou jsou však na trhu velice vzácná. CO_2 totiž vyžaduje ve srovnání s běžně užívanými freony vyšší tlaky, od kterých se odvíjí i robustnější konstrukce kompresoru. [7] [13]

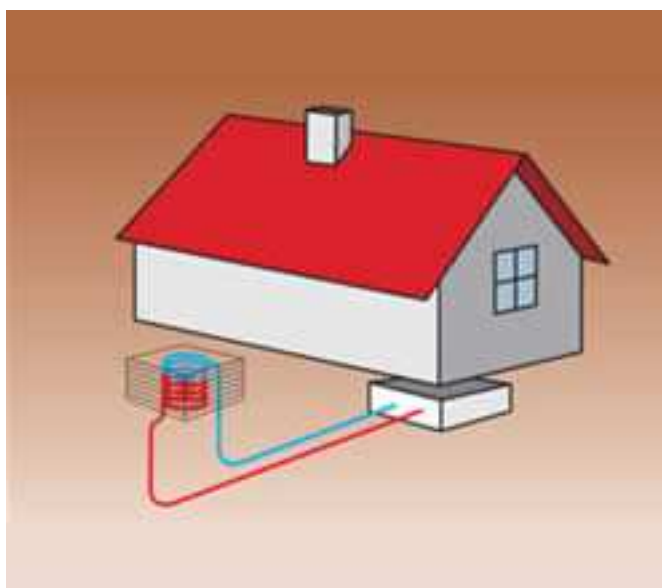
4.6.2 Bezpečnost práce

Z hlediska práce je nebezpečná tzv. vysokotlaká strana začíná od výtlačku kompresoru přes kondenzátor až do výparníku. Zde je na povrchu potrubí potřeba počítat s vysokou povrchovou teplotou. Větší nebezpečí se však nalézá mezi kondenzátorem a výparníkem v tzv. sběrači chladiva. Chladivo ve sběrači je stlačený zkapalněný plyn, který se při úniku do okolí začne bouřlivě odpařovat za prudkého poklesu okolní teploty. Pokud se bude jednat o větší únik chladiva, v okolí se udělá bílá mlha a teplota může klesnout až na -50°C . Což při styku s pokožkou způsobuje těžké omrzliny, v případě kontaktu s očima, jejich nevyléčitelné poškození. Proto je zapotřebí kontrolovat v tomto místě tlak. Samozřejmostí je větší zájem o toho místo z hlediska revizní kontroly. Je potřeba brát na vědomí, že freony jsou těžší než vzduch a proto se při úniku kumulují do sklepních a přízemních prostor. [13]

5 Zdroje tepla pro tepelné čerpadlo

5.1 Okolní vzduch

Ten je všude kolem nás, což se v závěru promítne i na investiční náročnosti pro toho tepelné čerpadlo. Vzduch se ochlazuje (předává teplo) ve výměníku tepla, který je umístěn ve vnějších mimo budovu. Jelikož ve vzduchu je málo tepla, musí být výměník opatřen ještě ventilátorem, aby jím procházelo větší objemy vzduchu. Tento systém je ale velice hlučný, proto je třeba zvážit, kde bude instalován, aby nerušil sousedy nebo samotného uživatele. Místo umístění je vhodné důkladně vybírat nejen z důvodů hluku, ale také z důvodu tvoření „kapsy“ studeného vzduchu. Ta se nachází v určitých místech, kde bychom ztráceli požadovaný výkon tepelného čerpadla. Tento systém lze použít i ve 12°C, při nižší teplotě je zapotřebí zapnout tzv. bivalentní zdroj. [7] [11]



Obr. 12 – Tepelné čerpadlo vzduch/voda – vzduch je ochlazován ve výměníku mimo objekt [11]

5.2 Odpadní vzduch

Teplo se odebírá odváděnému vzduchu z místnosti, které využívá pro větrání vzduchotechniku. Toto médium má teplotu větrané místnosti tj. 18-24°C. Výhoda tohoto systému je využití odpadního vzduchu, efektivita a využití pro vytápění objektu. Ale však nevýhodou zůstává to, že tepelné čerpadlo dokáže pokrýt jen určité množství tepelných ztrát, protože množství větracího vzduchu je omezené. [7] [11]

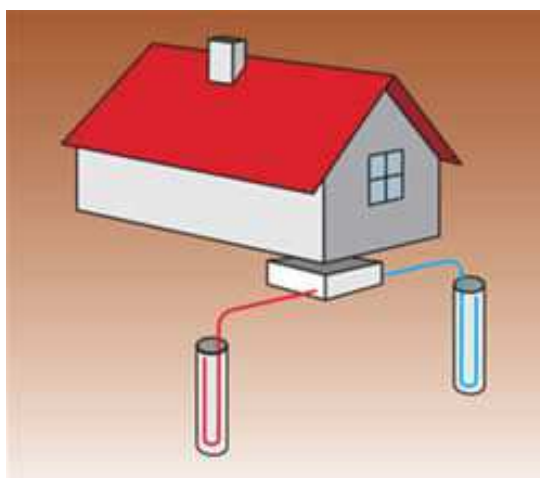
5.3 Povrchová voda

Tato voda se nachází v tzv. sací studni, je z ní odebírána a po jejím ochlazení se vypustí do tzv. vsakovací studny. Důležitou podmínkou je vhodnost podloží z geologického hlediska, které umožní čerpání i vsakování. Tuto vodu lze v rámci ochrany životního prostředí vypouštět do potoků či jiných toků. Vhodných lokalit pro tento typ tepelného čerpadla je relativně málo, jelikož zdroj musí být dosti vydatný pro požadovaný výkon. Jako příklad nám

poslouží, že pro výkon 10 kW je zapotřebí průtok alespoň 25l/min. Další závislosti tepelného výkonu na průtok vody lze vyčíst z tabulky 2. [7] [11]

VÝKON ODEBÍRA	TEPELNÝ VÝKON TČ		PRŮTOK VODY PŘI OCHLAZENÍ O 4 K	
	3	4	litr/min	m ³ /hod
kW	kW	kW		
3	4,5	4	11	0,6
5	7,5	6,7	18	1,1
8	12	10,7	29	1,7

Tabulka 1 – Potřebná vydatnost zdroje spodní vody [11]

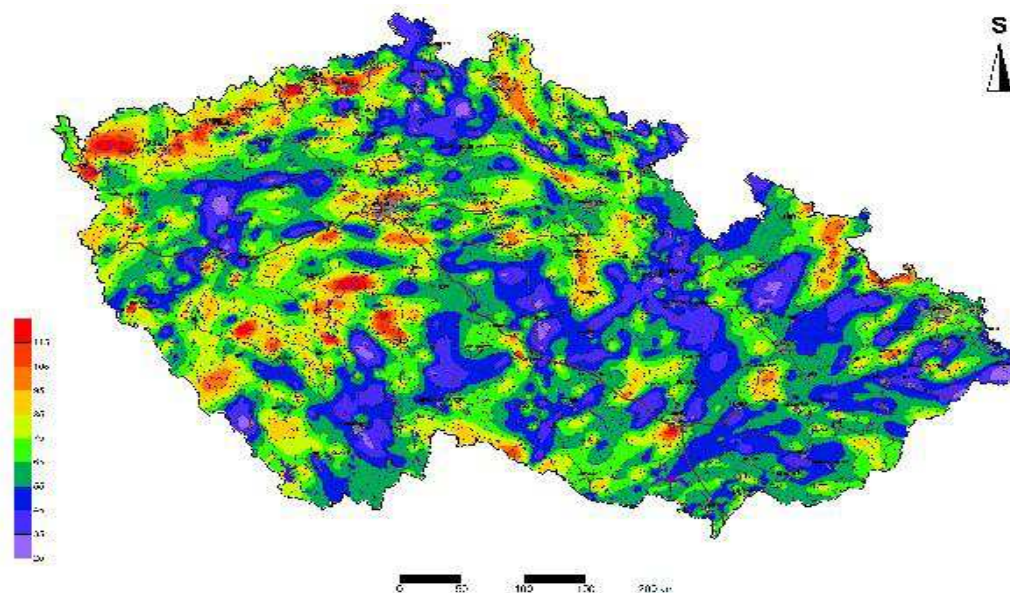


Obr. 13 – Tepelné čerpadlo voda/voda – voda čerpaná ze sací studny se ochlazuje a poté vypouští do vsakovací studny [11]

5.4 Půda

Tepelný tok můžeme vysvětlit jako množství tepla, které projde jednotkou plochy povrchu, kde platí vztah $Q=k \cdot \text{grad } T$. k je koeficient tepelné vodivosti a gradient T je přírůstek teploty s hloubkou. Tyto hodnoty se měří z Měsíce. Je zapotřebí si uvědomit, že v tomto tepelném toku zohledňujeme teplo přenášené k zemskému povrchu z jádra Země vedením, sáláním a prouděním (konvekci).

Průměrný tepelný tok na Zemi je $60 \pm 10 \text{ mW/m}^2$. Lokality s nejvyšší tepelnou hustotou dosahují hodnot až 90 mW/m^2 , za tyto lokality můžeme považovat Ostravsko, okolí obce Boží dar ležící v Krušných horách. Půda předává teplo (ochlazuje se) tepelným výměníkem v podobě polyethylenového potrubí plněného chladivem uložené do výkopu (půdní konektor). Je možnost odebírat teplo z hloubky země svislými vrty, v nichž je stejně řešený výměník. Aby docházelo k přestupu tepla, musí teplota směsi dosahovat podnulových teplot. Na mapě na obr. 13 je zobrazené geologické složení podloží v ČR ve vztahu k tepelnému toku. [11] [6]



Obr. 13 – Mapa tepelného toku v ČR podle proměnné tepelné vodivosti hornin [14]

5.4.1 Horizontální kolektor plošný

Pro instalaci plošného kolektoru je zapotřebí počítat s velkou plochou, jako obecným vodítkem lze říci, že její velikost je trojnásobkem plochy vytápěné. Dalším důležitým parametrem je hloubka. Mluvíme o tzv. nezámrazné hloubce, která se pohybuje okolo 1 m pod povrchem Země. Polyethylenové trubky se pokládají do hloubky 1-1,5 metru na souvisle odkrytou plochu ve standardní rozteči 0,6 - 1 metru. Ve výsledku nám položené potrubí ve smyčkách může evokovat chladicí smyčku ledničky nebo smyčku podlahového vytápění v domě. Měrný chladicí výkon kolektorů je okolo 40 W/m^2 , u jiných druhů půdy viz. Tabulka 2. Rozhodující energie pro využívání tepla je akumulovaná od slunce přímým zářením, přestupem tepla ze vzduchu a tepla ze srážek. Po topné sezoně tyto zdroje regenerují podchlazenou půdu. [6]

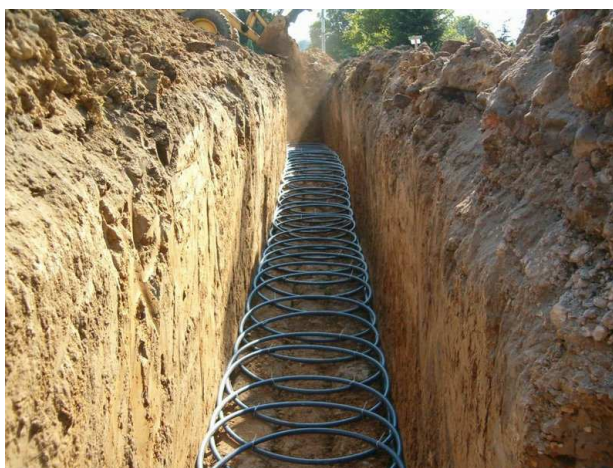


Obr. 14 - Horizontální kolektor plošný [15]

5.4.2 Horizontální kolektor výkopový

U tohoto druhu uložení se potrubí ve tvaru spirály pokládá do výkopu cca 1 metr širokého a 2 a více metrů hlubokého. Jednotlivé smyčky se ve výkopu vzájemně překrývají. Díky tomu je tento systém schopen výkonu 1 kW na 5 až 8 metrů délky výkopu. [6] [11]

Obecně je u plošných (horizontálních) kolektorů je zapotřebí počítat s tím, že s jeho použitím dochází k ochlazení okolní zeminy. To může mít za následek to, že v zimě se v těchto místech bude držet větší vrstva sněhu nebo se nebude dařit v tomto prostoru našemu rostlinstvu. Pokud plánujeme využívat kolektor celoročně, v létě například k vytápění bazénu, je při návrhu nutné zvolit kolektor rozměrnější. Je zde i možnost použít tepelné čerpadlo pro letní chlazení, v tomto případě lze půdní systém „dobíjet“ odpadním teplem. [11]

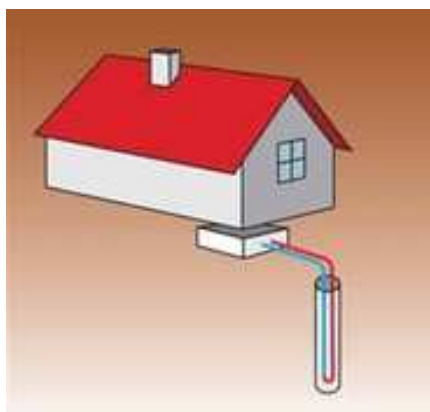


Obr. 15 – Zemní plošné kolektory (slinky). Jedná se o plastové potrubí z PEHD uložené v hloubce cca 2 metry [15]

DRUH PŮDY	MĚRNÝ VÝKON W/m ²	PLOCHA VÝMĚNÍKŮ PRO TČ S		
		3	3,5	4
Suchá nezpevněná půda	10	66 m ²	71 m ²	75 m ²
Ulehlá vlhká půda	20-30	33-22 m ²	36-24 m ²	38-25 m ²
Vodou nasycené štěrky a písky	40	17 m ²	18 m ²	19 m ²

Tabulka 2 – Parametry půdního kolektoru [11]

5.4.3 Hlubinné vrty



Obr. 16 – Geotermální vrt [11]

Pro volbu vhodné lokality výstavby vrtu je důležitým parametrem tepelná ziskovost hornin. Tabulka 3. ukazuje ziskovost tepla jednotlivých hornin. Skutečnou hodnotu v dané lokalitě nám určí pouze Thermal response test (TRT). Při dimenzování je důležité tento parametr nepodceňovat, jelikož vrt instalovaný s nedostatečnou hloubkou nemusí být dostatečně vydatný. Což může vést v průběhu několika let k jeho vymrznutí.

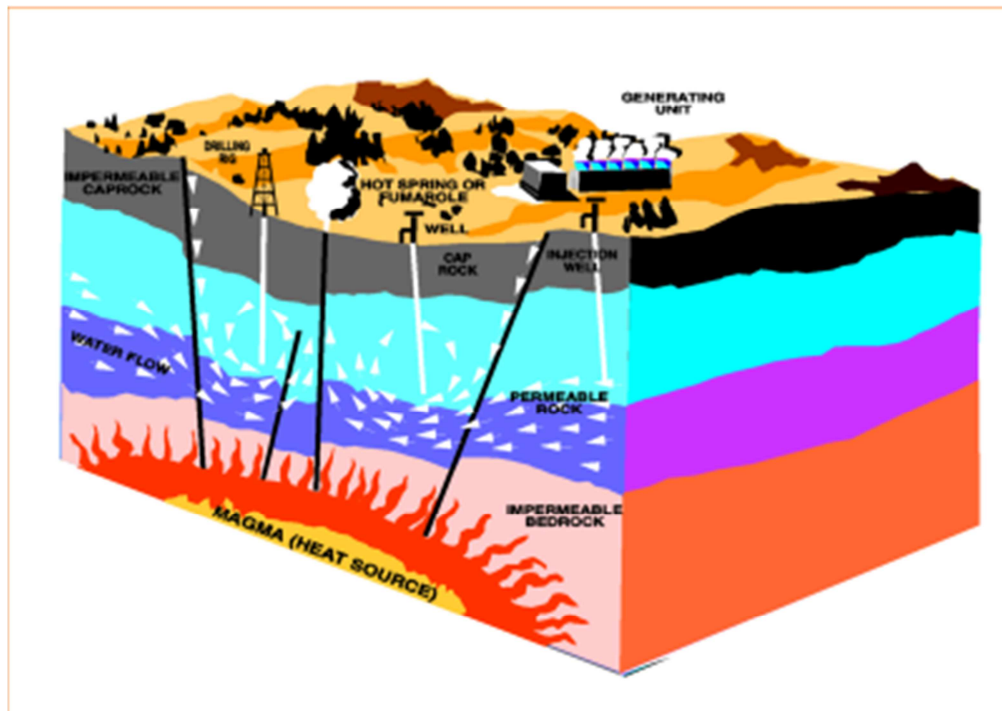
Podloží	Specifický odběr	
	pro 1800 h	pro 2400 h
Obecné hodnoty		
Špatné podloží (suchý sediment) - ($\lambda < 1,5 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)	25 W/m	20 W/m
Normální pevná hornina a zvodnělý sediment - ($\lambda = 1,5\text{-}3,0 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)	60 W/m	50 W/m
Pevná hornina s vysokou tepelnou vodivostí - ($\lambda > 3,0 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)	84 W/m	70 W/m
Jednotlivé horniny		
Písek, štěrk, suchý	<25 W/m	<20 W/m
Písek, štěrk, vedoucí vodu	65-80 W/m	55-65 W/m
Při silném podzemním vodním toku v písku nebo štěrku, jednotlivá zařízení	80-100 W/m	80-100 W/m
Jíl, hlína, vlhká	35-50 W/m	30-40 W/m
Vápencový masiv	55-70 W/m	45-60 W/m
Pískovec	65-80 W/m	55-65 W/m
Kyselá magmatická hornina (např. žula)	65-85 W/m	55-70 W/m
Zásaditá magmatická hornina (např. čedič)	40-65 W/m	35-55 W/m
Rula	70-85 W/m	60-70 W/m
Hodnoty mohou v závislosti na stavbě horniny (puklinatost, břídlíčnost, zvětrávání) kolísat.		

Tabulka 3 – Tepelná ziskovost horniny v rámci počtu pracovních hodin v průběhu roku [15]

Teplo ze Země čerpáme pomocí hlubinného vrtu od 50 do 150 m pod povrchem. Z toho se prvních 10-15 m „nepočítá“ a to z důvodu toho, že do této hloubky dochází ke kolísání teplot

způsobené kolísáním teplot venkovního vzduchu. Pokud je kvůli poptávce po vyšším výkonu zapotřebí montáž více vrtů, tak by měly mít od sebe odstup minimálně 10 m, aby se vzájemně neovlivňovaly. Z praxe vyplývá, že na 1 kW výkonu tepelného čerpadla spadá 12-18 metrů hloubky vrtu, přesná hodnota záleží na daných geologických podmínkách (viz. Tabulka 3), přesto by jeho návrh měl zpracovat odborník. Jak příklad můžeme uvést čerpadlo o výkonu 10 kW, které vyžaduje tedy cca 140 m hloubky vrtu (nebo dva 70 m). Účinnější a vhodnější je použít vrt jeden. [7] [11]

Po vyvrtání otvoru o průměru 130 – 220 mm se dovnitř vrtu zasune polyethylenová (LDPE) hadice kolektoru. Běžně je kolektor tvořen dvěma hadicemi, ale můžeme se setkat i se čtyřhadicovým provedením. Potrubí vrtu tvoří tzv. primární okruh a proudí v něm chladivo, nejčastěji monopropylenglykol nebo monoethylglykol. Po uložení kolektoru se vrt musí utěsnit cementovou nebo jílocementovou směsí. Nevhodné je zasypání pískem nebo jiným vytěženým materiálem, protože v případě, že by vrt narazil na zásobárnu podzemní vody, tak by se mohla znečištěná voda povrchová dostat do neutěsněného vrtu a narušit tak hydrogeologické poměry.

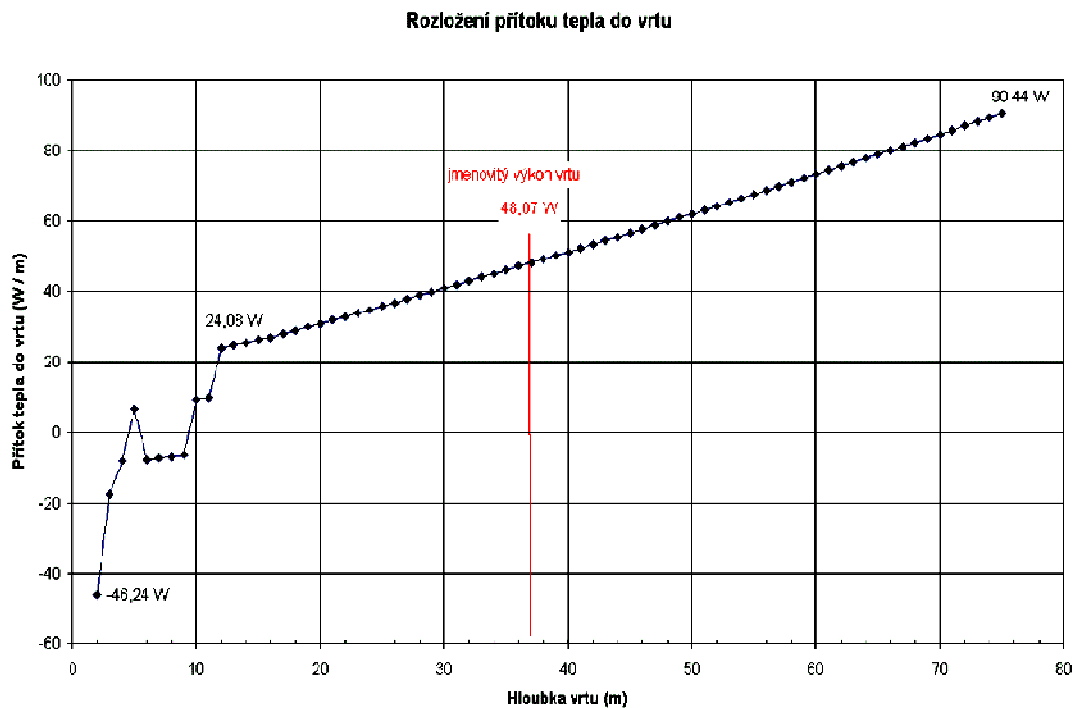


Obr. 17 – Obecně znázorněná struktura profilu Země [16]

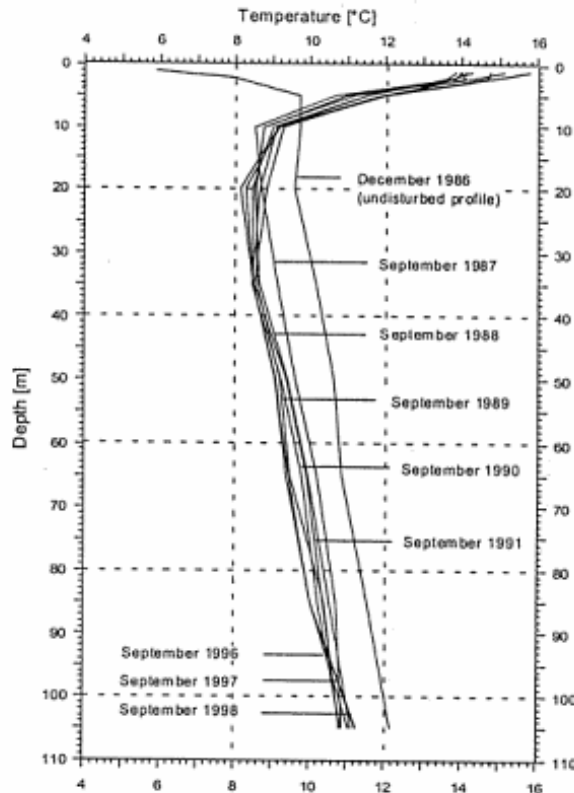
Tepelné čerpadlo a geotermálními hlubinnými vrty dosahuje dobrých topných faktorů, které zůstávají po průběh roku stabilní. Teplota se ve vrtu celoročně pohybuje okolo 10°C, tím dosáhneme topných faktorů 4-5. Může se nám stát, že vrt zamrzne. To se děje v případě, že je pro náš výkon poddimenzovaný čili okolí není schopno pokrýt odčerpané teplo. Tepelné čerpadlo pak začne využívat skupenské teplo vody z podzemních hornin, což ve výsledku vede k zamrznutí horniny okolo vrtu. Potom už jenom systém přestává pracovat. Uživatel musí dlouho čekat, než vrt opět rozmrzne. Z toho důvodu je nutné dimenzování nezanedbat.

V případě pouze sezónního vytápění postačí vrt kratší s tím, že mimo topnou sezonu je schopen regenerace. [11] [7]

Pokud bychom chtěli teplo do vrtu vracet, je zde možnost například během léta dodávat teplo do vrtu za pomoci energie ze slunečních kolektorů. Toto řešení se ale v praxi stává dosti neekonomickým a mnohem lepším řešením je provést dostatečně hluboký vrt. Další přijatelnou možností jak do vrtu dodat teplo, je využít odpadní teplo z letního chlazení budovy. [11] [6]



Obr. 18 – Rozložení přítoku tepla do vrtu vzhledem k jeho hloubce pod povrchem [17]



Obr. 19 – Izolinie teploty naměřené ve vrtu teplotně neovlivněném [18]

Na obrázku 19 můžeme vidět příklad průběhu teplot ve vrtu tepelného čerpadla. Ze znalosti anglického jazyka čteme, že vodorovná osa značí teplotu ve stupních Celsia, svislá osa hloubku v metrech. Hodnoty jsou zaznamenány pro měsíc září až na nejhořejší značení, které odpovídá prosinci, kdy došlo k spuštění tepelného čerpadla.

5.4.4 Výhody a nevýhody

Mezi výhody tepelných čerpadel využívajících zemského tepla patří to, že zvláště vrty umožňují použít tepelné čerpadlo jako jediný (monovalentní) zdroj. Je to dáno tím, že se teplota země v průběhu roku nemění.

K nevýhodám patří fakt, že venkovní jímací části vyžadují rozsáhlé stavební práce. Zemní kolektory a sondy ve vrtech jsou po zahrnutí téměř neopravitelné, vyřešila by to důkladná přejímka vrtu s ověřením hloubky a průchodnosti potrubí. Dále je tu možnost zamrznutí a následná nefunkčnost nedostatečně hlubokých vrtů. Může dojít je kontaminaci podzemních vod nebo ztráty pramenů v sousedních studnách. Zemní kolektory a hlubinné vrty musí být instalovány v dostatečné vzdálenosti od objektů a hlavně jejich základů, jelikož hrozí riziko zamrznutí půdy a následné posunutí nebo narušení stavby. [6]

6 Typy provozu a zapojení tepelných čerpadel

6.1 Bod bivalence

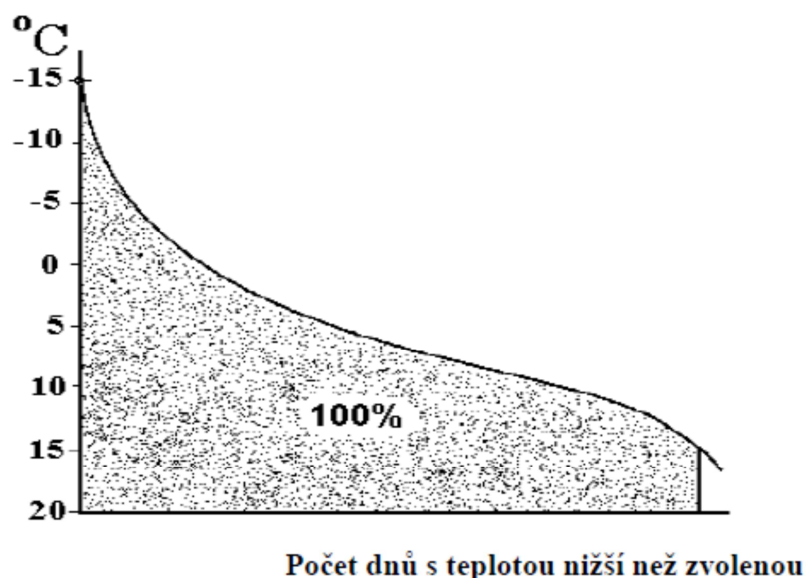
Tepelné čerpadlo využívá tepelnou energii z nízkopotenciálního zdroje. Ta však není po dobu provozu konstantní. Při nižších venkovních teplotách nebo vyčerpatelnosti zdroje, kdy topný výkon klesá, je vhodné doplnit tepelné čerpadlo druhým zdrojem tepla (např. elektrokotel). Bod bilance prezentuje teplotu zdroje, kdy je nutná tato náhrada.

Teplota bilance je závislá na teplotě topné vody a topného výkonu tepelného čerpadla. V provozu se bivalentní zdroje rozdělují na paralelní a alternativní.

Při určování provozního bodu bivalence je nutné zohlednit případné opravy, amortizaci a údržby za podmínek sníženého topného faktoru. To může mít za následek jeho posun při jakékoliv odchylce výkonu zdroje i výkonu topné soustavy, což vede k neekonomickému provozu nebo k nedodržení parametrů tepelné pohody. [19]

6.2 Monovalentní provoz

Monovalentním provozem tepelného čerpadla můžeme vysvětlit tím, že tepelné čerpadlo samo kryje spotřebu tepla po celé otopné období. Pro tento provoz se nejvíce hodí tepelná čerpadla pracujících na principu země-voda popř. voda-voda, kdy má zdroj přibližně konstantní teplotu. Vhodné je tento způsob použít v kombinaci s nízkoteplotním systémem vytápění. Nevýhodou tohoto systému je fakt, že tepelné čerpadlo musí být dimenzováno na maximální potřebný výkon systému, což znamená vyšší investiční náklady. [19]



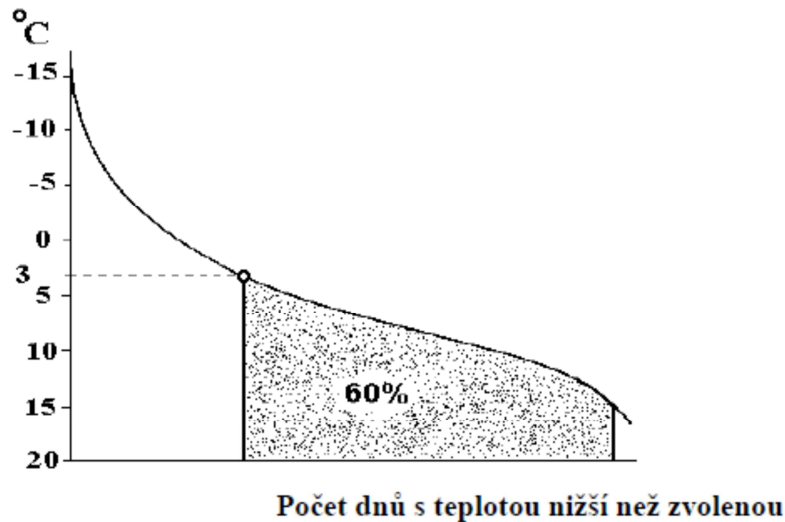
Obr. 20 – Monovalentní provoz TČ [19]

6.3 Bivalentní provoz

Bivalentní provoz znamená, že k přívodu tepla neslouží pouze tepelné čerpadlo, ale ještě konvekční tepelný zdroj, např. elektrokotel. Existují celkem tři způsoby provozu – alternativní, bivalentní, bivalentně paralelní a částečně paralelní.

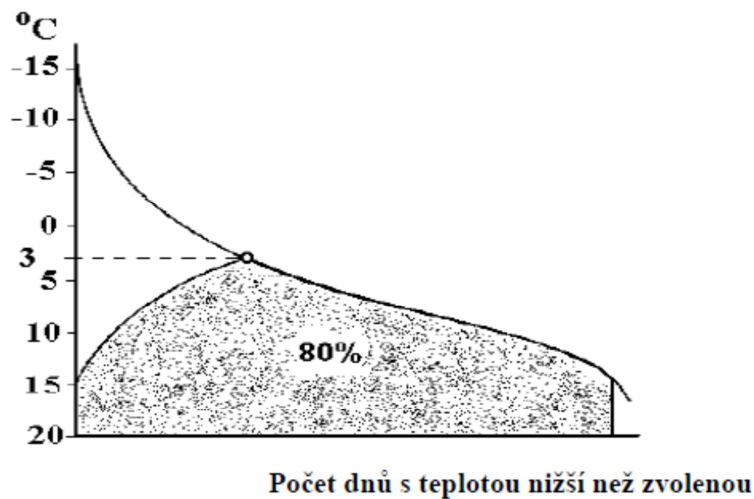
Při bivalentním provozu dochází k práci obou zdrojů tepla na sobě nezávislých. Čili buď pracuje tepelné čerpadlo, nebo kotel. TČ pokrývá spotřebu tepla do určitého bodu bivalence

(venkovní teploty). V jiných dnech spotřebu kryje kotel. Tento způsob provozu je vhodný i pro systémy s vyššími nároky na vytápění.



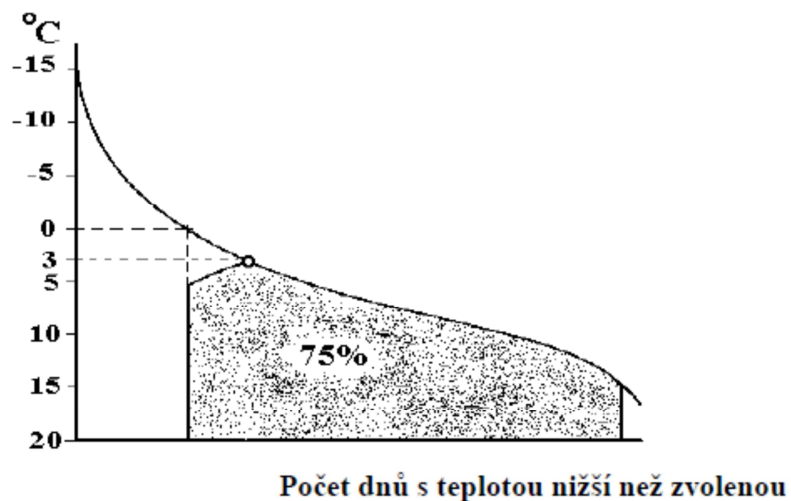
Obr. 21 – Bivalentně alternativní provoz [19]

Při bivalentních provozech pracují kotel i čerpadlo současně. Tepelné čerpadlo nejdříve pracuje samostatně a při dosažení teploty bivalence začínají pracovat společně. Čerpadlo funguje jako předehříváč vody v topném systému a kotel upravuje její teplotu na požadovanou hodnotu. V porovnání s bivalentně alternativním provozem je větší podíl tepelného čerpadla.



Obr. 22 – Bivalentně paralelní provoz TČ [19]

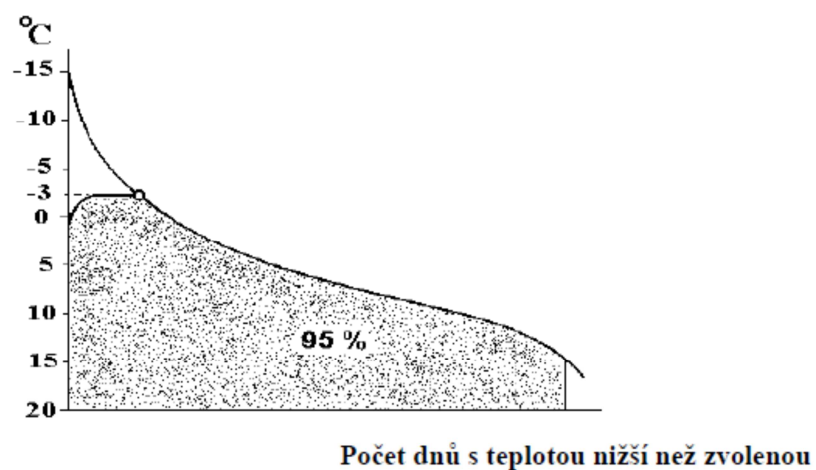
Částečně paralelně bivalentní (semiparalelní) provoz znamená, že tepelné čerpadlo do bodu bivalence pracuje samostatně a při poklesu teploty se k němu připojí další zdroj tepla. Podle teploty produkované vody je řízen provoz TČ. Tento provoz je vhodný pro vytápěcí systémy mající vysoké požadavky na teplotu topné vody. [19]



Obr. 23 – Bivalentní semiparalelní provoz [19]

6.4 Monoenergetický provoz

Používá se v případě, kdy vytápěcí systém nevyžaduje žádné další vytápěcí zařízení. Je vhodný pro tepelné čerpadlo vzduch/voda, které pracuje běžným způsobem až do venkovní teploty -18°C . Když ale dojde ke změně teploty a jeho výkon již nestačí, tak se připne samostatný elektrický zdroj. [19]



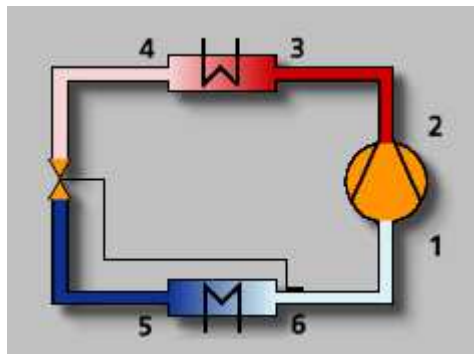
Obr. 24 – Monoenergetický provoz TČ [19]

7 Návrh tepelného čerpadla v programu Solkane 22

Počítačový program Solkane slouží pro návrh tepelných čerpadel a následné vykreslení tepelného cyklu do termomechanického diagramu. Samotná struktura programu pracuje s obecnými vzorci pro návrh, ulehčuje tak uživateli čas a minimalizuje možnost chyby ve výpočtu.

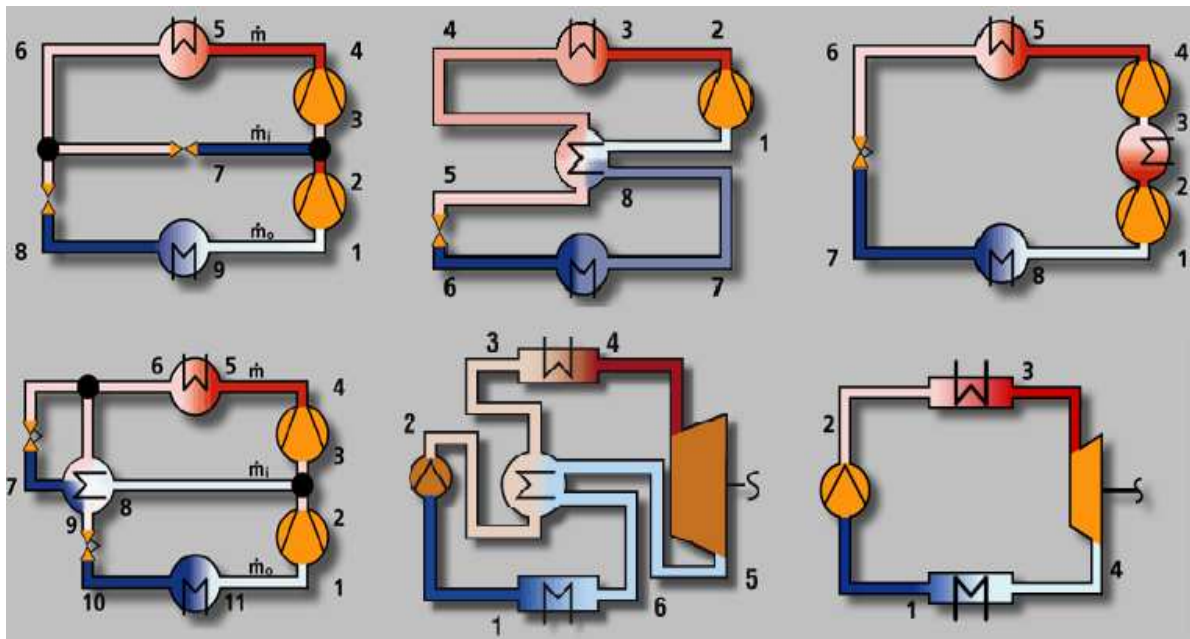
7.1 Předvolené cykly tepelných čerpadel

Uživatel má možnost vybrat hned z několika předvolených cyklů, konkrétně je zde nabídnuto pět variant cyklů tepelných čerpadel s klasickými výše uvedenými komponenty a dva cykly s turbínou namísto kompresoru (viz. obr. 21).



Obr. 20 – Obecné schéma tepelného čerpadla. (Zdroj: Solkane 22)
1-2 kompresor, 3-4 srážník, 5-6 výparník

Na obr. 20 je zobrazeno základní a v praxi nejpoužívanější schéma zapojení komponent tepelného čerpadla. Pro toto zapojení je uveden následující příklad výpočtu a celkového návrhu. Důležité je podotknout, že regulační ventil mezi srážníkem a výparníkem je opatřen čidlem, který snímá teplotu na výstupu výparníku (bod 6). Podle daného vyhodnocení reguluje jeho průtok, aby se předešlo velkým tepelným rázům a docílilo se požadované vstupní teploty pro kompresor.



Obr. 21 – Další předvolená schémata tepelných čerpadel v programu Solkane 22. (Zdroj: Solkane 22)

7.2 Vstupní parametry

7.2.1 Chladiva

První vstupní hodnotou je chladivo. Máme zde na výběr hned z několika druhů, každé se liší svými vlastnostmi, jako jsou vypařovací a srážecí teplota či spolehlivost v podobě stálosti po x provedených cyklech. Autorova volba padla na chladivo R22, proč? Jelikož je v ČR nejrozšířenější.

R22	R23	R32	R123	R124	R125	R134a	R143a	R152a	R227	R365mfc	
R404A	R407C	R409A	R410A	R507	SES36	S22L	S22M	R11	R12	R502	R13B1

Obr. 22 – Předvolené druhy chladiv. (Zdroj: Solkane 22)

7.2.2 Výparník a srážník

Po výběru cyklu a chladiva je potřebné zadat požadované parametry pro výparník a srážník. Na prvním řádku se volí teplota výparníku a srážníku. Autor uvažuje jako nízkopotenciální zdroj zemi s použitím zemního kolektoru, proto orientační teplota -5°C . V otopném systému se uvažuje teplotní spád $55/45^{\circ}\text{C}$, proto je vstupní teplota pro kondenzátor 60°C . Systém je navržen na výkon 10 kW . Neuvažuje se přehřátí, pokles tlaku a podchlazení jak u výparníku, tak i u srážníku (pozn. autora: výpočet je pouze orientační, slouží pouze pro obecné seznámení s programem).

Evaporator		Condenser	
Temperature	-5.00 °C	Temperature	60.00 °C
Superheating	0.00 K	Subcooling	0.00 K
Pressure drop	0.00 bar	Pressure drop	0.00 bar
Refrigerating cap.	10.0 kW	Calculation	

Obr. 23 – Zadávací tabulka pro výparník a srážník. (Zdroj: Solkane 22)

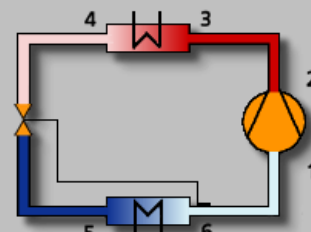
7.3 Výstupní parametry

7.3.1 Hodnoty chladiva

V programovém okně pro výstupní parametry program zobrazí tabulku, kde uživatel může sledovat postupné změny stavu chladiva při průběhu systémem tepelného čerpadla. Body v tabulce zobrazují dané místo v cyklu. Orientace je směřovaná na přiložené schéma.

Point	p bar	t °C	v dm ³ /kg	h kJ/kg	s kJ/kgK	x --
1	4.22	-5.00	55.22	403.04	1.7578	
2s	24.27	87.70	11.23	447.71	1.7578	
2	24.27	99.35	12.00	458.88	1.7882	
3	24.27	99.35	12.00	458.88	1.7882	
3'	24.27	60.00	8.97	417.77	1.6713	
3*4'm	24.27	60.00	4.97	347.56	1.4606	
4'	24.27	60.00	0.97	277.36	1.2498	
4	24.27	60.00	0.97	277.36	1.2498	
5	4.22	-5.00	22.47	277.36	1.2891	0.398
5*6'm	4.22	-5.00	38.84	340.20	1.5234	
6"	4.22	-5.00	55.22	403.04	1.7578	
6	4.22	-5.00	55.22	403.04	1.7578	

Single-stage process



Obr. 23 – Výstupní parametry. (Zdroj: Solkane 22)

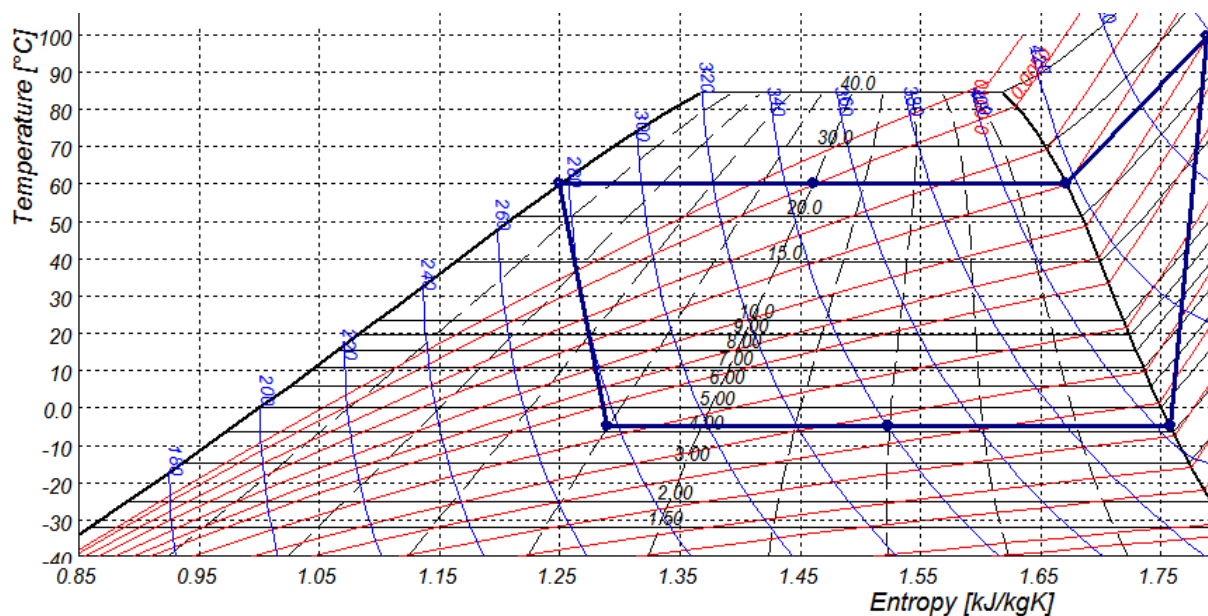
7.3.2 Topný faktor a výkony komponentů

Power	Single-stage process		
Evaporator	10.0 kW	Pressure ratio	5.76
Condenser	14.4 kW	Pressure difference	20.06 bar
Compressor	4.44 kW	Mass flow	79.57 g/s
		Volume flow (Suction line)	15.82 m ³ /h
		Volum. capacity	2276 kJ/ml
Suction line	0.000 kW	COP	2.25
Discharge line	0.000 kW		

Obr. 24 – Zobrazení výstupních hodnot výkonů komponentů, hmotnostního toku, topného faktoru. (Zdroj: Solkane 22)

Na obr. 24 je zobrazena tabulka pro další výstupní parametry. Jsou zde zaznamenány výkony jak vstupní tak výkon kompresoru. Jelikož neuvažujeme hodnoty přehřátí, poklesu tlaku a poklesu teploty jak sání, tak na plnění, jsou výkony pro sání a plnění nulové. Na pravé straně tabulky lze vyčíst hodnoty kompresního poměru, tlakového rozdílu, hmotnostního průtoku, objemového průtoku, přípustného objemu a v poslední řadě topného faktoru. Ten vyšel 2,25, což je poněkud nízká hodnota oproti standardním 3. Je to dáno volbou chladiva a podmínek (Vstupních parametrů) tepelného čerpadla.

7.3.3 Vykreslení v T-S diagramu



Obr. 25 – Zobrazení funkce tepelného čerpadla v T-s diagramu. (Zdroj: Solkane)

8 Příklad instalace TČ v rodinném domě s tepelnou ztrátou 6 kW

8.1 Technické řešení

Dům je vytápěn tepelným čerpadlem VT Greenline LC C6 pracujícím na principu země-voda o výkonu 5,9 kW. Součástí TČ je elektrokotel o výkonu 3 kW, který pomáhá tepelnému čerpadlu s vytápěním při extrémně nízkých venkovních teplotách a zároveň funguje jako záloha při nečekaném výpadku čerpadla. Jedná se o systém řízený ekvitermní regulací a k vytápění objektu dochází na základě údajů o venkovní teplotě. Tepelné čerpadlo celoročně ohřívá vodu v nerezovém zásobníku, který je vestavěný. Dům je vytápěn podlahovým vytápěním.

Tepelné čerpadlo je v kompaktním provedení a to včetně elektrokotle, zásobníku teplé vody, oběhovým čerpadlem a ostatních armatur. V systému je použit kompresor Scroll s protihlukovým krytem a zdrojem tepla je plošný kolektor. [20]

8.2 Investiční náklady

„V tabulce jsou uvedeny přibližné investiční náklady na pořízení tepelného čerpadla s plošným kolektorem a porovnání s investičními náklady na pořízení kondenzačního plynového kotle.“ [20]

Značkový kondenzační plynový kotel 16 kW	Rodinný dům s tepelnou ztrátou 6 kW, s podlahovým vytápěním a čtyřmi obyvateli.	Tepelné čerpadlo země/voda IVT GREENLINE LC C6
53 000,-	Cena zařízení včetně ekvitermní regulace	178 000,-
23 100,-	Zásobník teplé vody 200 l	V ceně
16 000,-	Montáž kotleny, elektroinstalace, uvedení do provozu, revize plynu a elektro	60 000,-
9 000,-	Odkouření kotle nebo komín	0,-
33 000,-	Vnitřní a vnější plynovod, kaplička, projekt rozvodu plynu	0,-
30 000,-	Náklady na přivedení plynu k pozemku (bývá obvykle součástí ceny parcely)	0,-
0,-	Zemní práce pro primární okruh tepelného čerpadla	30 000,-
164 100,-	CELKEM bez DPH	268 000,-
Rozdíl v pořizovací ceně je 114 000 Kč vč. DPH		

Tabulka 4 – Investiční náklady [20]

8.3 Provozní náklady

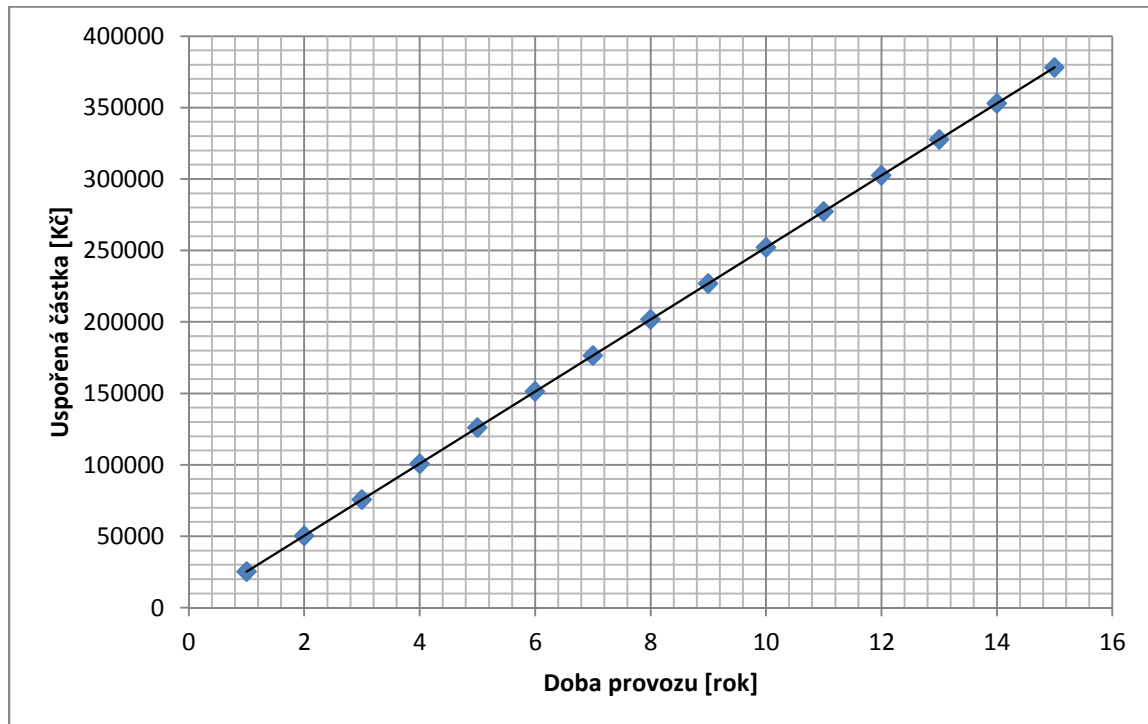
„V tabulce jsou uvedeny celkové provozní náklady domu vytápěného tepelným čerpadlem a kondenzačním plynovým kotlem.“ [20]

Značkový kondenzační plynový kotel 16 kW	Rodinný dům s tepelnou ztrátou 6 kW, s podlahovým vytápěním a čtyřmi obyvateli.	Tepelné čerpadlo země/voda IVT GREENLINE LC C6
15 896,-	Spotřeba tepla na vytápění 11 400 kWh	6 800,-
5 578,-	Spotřeba tepla na ohřev teplé vody 4 000 kWh	3 577,-
19 055,-	Spotřeba ostatní elektřiny v domě 4 000 kWh	10 579,-
1 642,-	Paušální platba za elektřinu	4 255,-
8 819,-	Paušální platba za plyn	0,-
50 990,-	CELKEM	25 211,-
Rozdíl v provozních nákladech je 25 779 Kč		

Tabulka 5 – Provozní náklady [20]

8.4 Návratnost investice

Za tepelné čerpadlo uživatel zaplatí 114 000 Kč včetně DPH čili více než za plynové vytápění. Když ale porovná tuto počáteční investici s dosaženou roční úsporou provozních nákladů 25 700 Kč, pak vychází návratnost za 4,4 roku. Dosažená úspora je přímo úměrná růstu cen energií. Čím budou vyšší, tím více ušetříme a počáteční investice se nám tím pádem vrátí rychleji.



Obr. 26 – Graf uspořené částky z provozu TČ v průběhu 15-ti let při stabilních cenách energií

9 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo provést rešerši v oblasti tepelných čerpadel země-voda, která měla zahrnovat používané principy, koncepční řešení a dosahované topné faktory. Práce měla také obsahovat konkrétní příklady použití tepelných čerpadel země-voda.

Úvodem je čtenář seznámen s historií a principem činnosti tepelných čerpadel spolu s jejich druhy, efektivitou a termomechanickými pochody, kterými při provozu prochází. V práci jsou uvedeny i druhy používaných kompresorů a chladiv. Dále je v textu vysvětlen základní rozhodující parametr tepelného čerpadla, topného faktoru. Práce se nevyhnula ani tématice, jako jsou typy provozu a druhy zapojení, kde je rozhodující parametr bod bivalence.

Čtenář byl nadále seznámen s návrhem tepelného čerpadla v programu Solkane ve verzi 22. Vstupní parametry byly smyšlené. Hlavním cílem bylo čtenáře seznámit s možnostmi programu a hlavně s jeho výstupními parametry a to včetně vykreslení děje tepelného čerpadla v T-S diagramu. Práce končí ukázkovým modelem použití tepelného čerpadla na rodinném domě. Jeho cílem bylo ukázat uživateli efektivitu tepelného čerpadla, pracující s primárním okruhem v podobě zemního kolektoru, a návratnost počáteční vysoké investice.

Tepelné čerpadlo se v posledních letech čím dál více jeví jako výhodná investice. Je to dáno nejenom stále se zvyšujícími ceny za energie, ale i ekologičností a komfortu provozu. V dalších letech proto můžeme očekávat růst zájmu spotřebitelů.

Seznam použitých zdrojů

- [1] **Hobza, Otakar.** Svět bydlení. *Představujeme tepelná čerpadla.* [Online] 13. 4 2007. [Citace: 14. 11 2011.] www.svetbydleni.cz/stavba-a-rekonstrukce/predstavujeme-tepelna-cerpadla-1-dil-pohled-do-historie-aneb-jak-to-vse-vzniklo-.aspx.
- [2] Wikipedie. *William Thomson.* [Online] 8. 11 2011. [Citace: 14. 11 2011.] cs.wikipedia.org/wiki/William_Thomson.
- [3] Production history of heat pump. *heat pumps.* [Online] Briteam. [Citace: 2. 5 2012.] <http://progress21.com.ua/en/heat-pumps/production-history>.
- [4] **Buřta, Ing. Aleš.** *Obnovitelné zdroje energie - Tepelná čerpadla v roce 2010.* Surovinové a energetické statistiky. Praha : Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2011. str. 3.
- [5] **Zogg, Martin.** *Process and Energy Engineering.* CH-3414 Oberburg, Switzerland : autor neznámý, 2008.
- [6] **Tintěra, Ing. Ladislav.** *Tepelná čerpadla.* Praha : ABF, a.s. - Nakladatelství ARCH, 2003. ISBN: 80-86165-61-2.
- [7] **Srdečný, Ing. Karel a Truxa, Ing. Jan.** *Tepelná čerpadla.* [editor] Hana Drinocká. Brno : ERA, Berkova 8, 612 00 Brno, 2005. ISBN: 80-7366-031-8.
- [8] **Bláha, Ing. Marek.** První tepelné čerpadlo v rodinném dome funguje již 20 let. <http://vytapani.tzb-info.cz>. [Online] Tepelná čerpadla IVT s.r.o., 31. 10 2011. [Citace: 15. 3 2012.] <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelnacerpadla/7983-prvni-tepelne-cerpadlo-v-rodinnem-dome-funguje-jiz-20-let>.
- [9] Heat Pump Mechanics. *Geo4VA.* [Online] Virginia Tech - Virginia department of mines minerals and energy. <http://www.geo4va.vt.edu>.
- [10] *Termodynamika - Cykly poháněných tepelných strojů.* **Prof. Ing. Milan Pavelek, CSc.** Brno : FSI VUT v Brně, Energetický ústav, Obor termomechaniky a techniky prostředí, 2012.
- [11] **Jiří Beranovský, Monika Kašparová, František Macholda, Karel Srdečný, Jan Truxa.** ENERGIE PROSTŘEDÍ, GEOTERMÁLNÍ ENERGIE, TEPELNÁ ČERPADLA. *Ekowatt.* [Online] 2007. [Citace: 21. 3 2012.] <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/energie-prostredi-geotermalni-energie-tepelna-cerpadla>.
- [12] **Zdeněk, Čejka.** Použití kompresorů SCROLL pro nízké teploty. *ALFACO.* [Online] http://www.alfaco.cz/copeland/udaje/skroly_nizkotepl.pdf.
- [13] **Brož, Ing. Jiří.** www.tzb-info.cz. *Prohlídky a revize tlakových nádob u chladicích zařízení.* [Online] Schiessl, s.r.o., 2. 3 2009. [Citace: 1. 3 2012.] <http://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/5457-prohlídky-a-revize-tlakovych-nadob-u-chladicich-zarizeni>.
- [14] Geotermální energie. *Obnovitelné zdroje.* [Online] ZTC Energy s.r.o. <http://www.ztcenergy.com/sluzby/geotermalni-energie/>.

- [15] Problematika tepelného čerpadla. *Ge-tra*. [Online] Ge-tra. [Citace: 22. 4 2012.] <http://www.ge-tra.cz/sila-pod-povrchem.htm>.
- [16] Geotermální energie. *Res compass*. [Online] [Citace: 1. 5 2012.] <http://www.rescompass.org/cesky,132/obnovitelna-energie,133/5-geotermalni,110.html>.
- [17] **Petr, Čížek**. Zemní tepelné výměníky tepelných čerpadel se neobejdou bez podzemní vody. *Geolog*. [Online] 22. 9 2005. http://www.geolog.cz/odborne_clanky/Cizek%20TC%20a%20voda.htm.
- [18] **Ing. Ryška Jiří, CSc.** Vrtý do horninového masivu - zdroj energie pro tepelná čerpadla (VI). *tzb-info*. [Online] 20. 11 2006. <http://www.tzb-info.cz/3691-vrty-do-horninoveho-masivu-zdroj-energie-pro-tepelna-čerpadla-vi>.
- [19] **Zlatareva, Dr. Ing. Veneta**. Tepelná čerpadla. *MPO-efekt*. [Online] <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/1185.pdf>.
- [20] **IVT**. Příklad instalace v rodinném domě s tepelnou ztrátou 6 kW. *IVT tepelná čerpadla*. [Online] [Citace: 12. 5 2012.] <http://www.cerpadla-ivt.cz/cz/priklad-instalace-v-rodinnem-dome-s-tepelnou-ztratou-6-kw>.

Seznam použitých zkratk a symbolů

TUV		<i>teplá užitková voda</i>
$T\check{C}$		<i>tepelné čerpadlo</i>
$\varepsilon, \varepsilon_H, COP_H$		<i>topný faktor</i>
Q_k	$[J]$	<i>energie tepelného čerpadla</i>
N_{el}	$[J]$	<i>elektrická energie</i>
q_H	$[W/m^2.K]$	<i>tepelný tok předávaný otopnému systému</i>
q_C	$[W/m^2.K]$	<i>tepelný tok získávaný z nízkopotenciálního zdroje</i>
h	$[W/m^2.K]$	<i>entalpie</i>
v	$[m^3]$	<i>měrný objem</i>
p	$[Pa]$	<i>tlak</i>
q	$[\]$	<i>tepelný tok</i>
t_k	$[^{\circ}C]$	<i>výstupní teplota z tepelného čerpadla</i>
t_0	$[^{\circ}C]$	<i>vstupní teplota do tepelného čerpadla</i>
Q_c	$[J]$	<i>teplo odebrané zdroji tepla</i>
V		<i>výparník</i>
K		<i>kompresor</i>
S		<i>srážník</i>
R		<i>redukční ventil</i>
s	$[J/Kg.K]$	<i>entropie</i>
λ	$[W/m.K]$	<i>součinitel tepelné vodivosti</i>