

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY**  
**A EKOLOGIE**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Analýza provozu tepelného čerpadla**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Robert NETRVAL**  
Osobní číslo: **E12N0105P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Technická ekologie**  
Název tématu: **Analýza provozu tepelného čerpadla**  
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Uveďte princip tepelných čerpadel, jejich rozdělení a využití.
2. Provedte technicko - ekonomickou analýzu vybraného provozu TČ.
3. Uveďte přednosti a nedostatky analyzovaného provozu.
4. Navrhněte řešení vedoucí k zefektivnění provozu TČ.
5. Uveďte závěry pro praxi.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:


**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Hana Benešová**  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **14. října 2013**  
Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2014**

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

## **Anotace**

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na analýzu provozu tepelného čerpadla. Je rozdělena na několik částí podle zásad pro její vypracování. První část je věnována současnému stavu technologie a dnes nejčastěji používaným typům tepelných čerpadel. V druhé části je uvedena ekonomická analýza, technická analýza a jednotlivé součásti analyzovaného provozu. Třetí část ukazuje přednosti a nedostatky daného provozu. Poslední dvě části jsou věnovány návrhu zefektivnění daného provozu a závěrům pro praxi.

## **Klíčová slova**

Tepelné čerpadlo, technická analýza, ekonomická analýza, topný faktor, výkonová křivka

**Abstract**

This thesis is focused on analysis of heat pump operation. Thesis is divided into several parts according to the guidelines for its preparation. The first part consists of description of the current technological situation and the most widely used types of heat pumps. In the second part there are economic analysis, technical analysis and the single components of analysed operation. The third part shows advantages and disadvantages of the operation. Last two parts are describing suggestions to advance efficiency of the operation and conclusions into practical use.

**Klíčová slova**

Heat pump, technical analysis, economic analysis, coefficient of performance, power curve

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou/bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské/diplomové práce, je legální.

.....  
podpis

V Plzni dne 12.5.2014

Robert Netrval

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval všem lidem, kteří mi svým přístupem, znalostmi a zkušenostmi pomohli při vypracování této diplomové práce. Poděkování především vyjadřuji vedoucímu diplomové práce Ing. Milanu Bělíkovi, Ph.D.. Dále bych rád poděkoval konzultantovi Ing. Davidu Šafránkovi za zapůjčení softwaru a materiálů firmy Stiebel Eltron.

## Obsah

<b>Seznam symbolů a zkratk</b> .....	<b>9</b>
<b>Úvod</b> .....	<b>10</b>
<b>1 Princip tepelného čerpadla</b> .....	<b>11</b>
1.1 Princip absorpčního tepelného čerpadla.....	11
1.2 Tepelné čerpadlo se stirlingovým oběhem.....	12
1.3 Tepelné čerpadlo s paroproudým oběhem .....	12
1.4 Termoelektrické tepelné čerpadlo .....	13
1.5 Princip kompresorového tepelného čerpadla .....	14
1.5.1 Hlavní části kompresorového tepelného čerpadla .....	14
1.5.2 Dělení kompresorových tepelných čerpadel podle typu kompresoru.....	15
1.5.3 Dělení kompresorových tepelných čerpadel podle zdroje tepla .....	15
<b>2 Technicko-ekonomická analýza provozu</b> .....	<b>21</b>
2.1 Technická analýza.....	21
2.1.1 Venkovní jednotka.....	21
2.1.2 Ostatní komponenty .....	22
2.2 Ekonomická analýza .....	25
<b>3 Přednosti a nedostatky analyzovaného provozu</b> .....	<b>27</b>
<b>4 Návrh zefektivnění provozu TČ</b> .....	<b>29</b>
<b>Závěr</b> .....	<b>34</b>
<b>Použitá literatura a prameny</b> .....	<b>35</b>
<b>Seznam obrázků</b> .....	<b>37</b>
<b>Seznam tabulek</b> .....	<b>37</b>
<b>Seznam grafů</b> .....	<b>37</b>
<b>Seznam příloh</b> .....	<b>38</b>



### **Seznam použitých zkratek**

TČ - tepelné čerpadlo

TUV - teplá užitková voda

PRE - Pražská energetika, a. s.

HDO - hromadné dálkové ovládání

## Úvod

Jelikož se světové zásoby nejpoužívanějších zdrojů pro výrobu elektrické energie a tepla nezastavitelně zmenšují, je potřeba hledat zdroje nové. Díky klesajícím zásobám paliv zákonitě dochází k růstu jejich cen a tím i cen energií. Alternativní zdroje již dnes nejsou žádnou novinkou a jsou hojně využívány právě proto, že majiteli umožňují osvobodit se ze závislosti na distribučních sítích a rostoucích cenách všech druhů paliv.

Ve většině zemí se stále většina tepelné i elektrické energie vyrábí pomocí spalování uhlí. I přes téměř dokonalé technologie na čištění spalin stále dochází k uvolňování velkého množství nežádoucích látek do ovzduší. Ty pak způsobují smog, kyselé deště nebo změny klimatu. Použitím alternativních (tzv. čistých) zdrojů můžeme tyto emise ve značné míře omezit.

Jedním z alternativních zdrojů tepla pro vytápění a ohřev teplé užitkové vody (TUV) je tepelné čerpadlo (TČ). Tato technologie je ve světě využívána od roku 1980 a v posledních letech se jí dostává stále větší publicity.

Mým cílem v této práci je analyzovat provoz tepelného čerpadla, zjistit jeho přednosti a nedostatky a následně navrhnout zlepšení vybraného provozu.

Protože se mi nepodařilo oslovit správné majitele TČ, kteří by byli ochotni nechat mě analyzovat jejich systém v provozu, pracuji v této práci s údaji poskytnutými společností Stiebel Eltron.

# 1 Princip tepelného čerpadla

Jedná se o zařízení, odebírající nízkopotenciální teplo z prostředí o velkém objemu. Toto teplo je obsaženo v okolním vzduchu, zemi, vodě podzemní nebo povrchové a pro svou nízkou teplotu je běžnými způsoby nevyužitelné.

Tepelné čerpadlo by se dalo přirovnat k čerpadlu vodnímu, které vodu přečerpává z nižší hladiny na vyšší. Tepelné čerpadlo pracuje stejně, energii nevyrábí, ale přečerpává na vyšší teplotní úroveň. Abychom byli schopni přečerpávání uskutečnit, je potřeba dodat určité množství energie pro provoz. Můžeme říci, že z celkového výkonu tepelného čerpadla tvoří 1/3 dodaná elektrická energie a zbylé 2/3 teplo odnímané z ochlazovaného prostředí. Pomocí tepelného čerpadla je toto teplo převedeno na takovou hladinu, aby se dalo využít pro vytápění nebo ohřev TUV. [1]

## 1.1 Princip absorpčního tepelného čerpadla

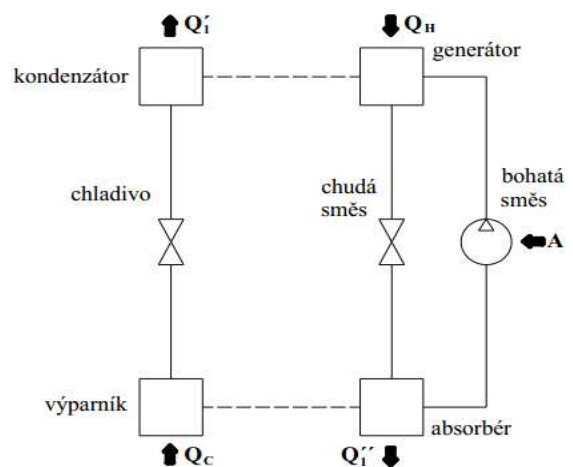
Transformaci tepla u tohoto typu TČ zajišťuje absorpční oběh. Hnací energií je zde teplo z integrovaných hořáků, nebo teplosměnných ploch. Nejběžněji používané kompresorové TČ využívá jako hnací energii energii elektrickou.

Základem absorpčního TČ je absorpční látka a chladivo. Ve výparníku se chladivo odpařuje a následně putuje do absorberu, kde jsou páry absorbovány kapalnou absorpční látkou. Během této reakce dochází k uvolnění absorpčního tepla. V dalším kroku je kapalná směs v části oběhu s vyšším tlakem zahřáta, páry chladiva vypuzeny z absorpční kapaliny a zkapalněny v kondenzátoru. Chladivo se po té vypustí přes škrťací ventil do výparníku, kde vlivem nízkého tlaku dochází k varu,

odpaření a přejímání tepla ze zdroje. Absorpční kapalina je vedena oddělenou větví se škrťacím ventilem z vysokotlaké části do nízkotlaké části. [1]

Nejčastěji používanými provozní náplněmi jsou:

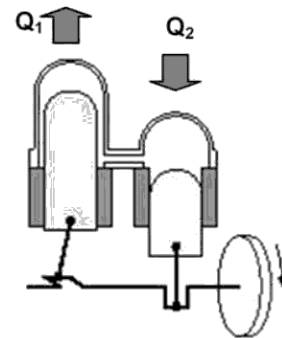
- $\text{NH}_3$  (chladivo) –  $\text{H}_2\text{O}$  (absorbent),
- $\text{H}_2\text{O}$  (chladivo) –  $\text{NaOH}$  (absorbent).



Obr. 1 – Schéma absorpčního TČ [Zdroj: 1]

## 1.2 Tepelné čerpadlo se stirlingovým oběhem

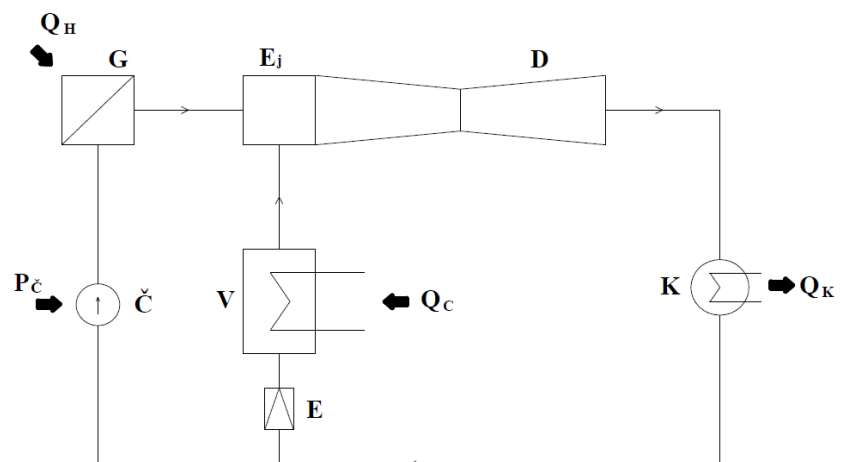
Princip není založen na fázové změně pracovní látky, ale na cyklické kompresi a expanzi pracovního plynu, uzavřeného v prostoru dvou válců, které jsou vzájemně propojeny. Pracovní prostor je omezen pohyblivými se písty, připojenými na společnou klikovou hřídel. Otáčením hřídele dochází ke kompresi pracovního plynu a tím i k jeho zahřátí. Dále dochází k ochlazení plynu v kompresním válci. Po té následuje expanze plynu a přesunutí do expanzního válce. Při expanzi dochází k ochlazení plynu a tím je umožněno čerpat teplo z okolí expanzního válce. Práce potřebná k realizaci popsaného cyklu je dodávána otáčením klikového hřídele. [1]



Obr. 2 – Princip TČ se Stirlingovým oběhem [Zdroj: 1]

## 1.3 Tepelné čerpadlo s paroproudým oběhem

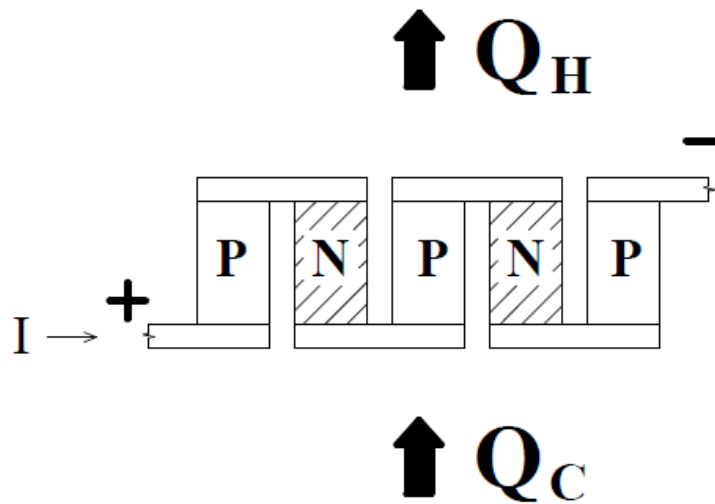
Tento typ TČ pracuje stejně jako kompresorové TČ, ale kompresor je zde nahrazen generátorem a ejektorem. Generátor funguje jako vyvíječ páry. Ta je v trysce ejektoru urychlena a strhává s sebou páry z výparníku do difuzoru. Zde se přeměňuje kinetická energie na tlakovou. Zbytek paroproudého oběhu je složen ze stejných prvků jako oběh parní. Výhodou tohoto systému je vyloučení pohyblivých dílů, jednoduchost a spolehlivost. [1]



Obr. 3 – Schéma TČ s paroproudým oběhem [Zdroj: 1]

#### 1.4 Termoelektrické tepelné čerpadlo

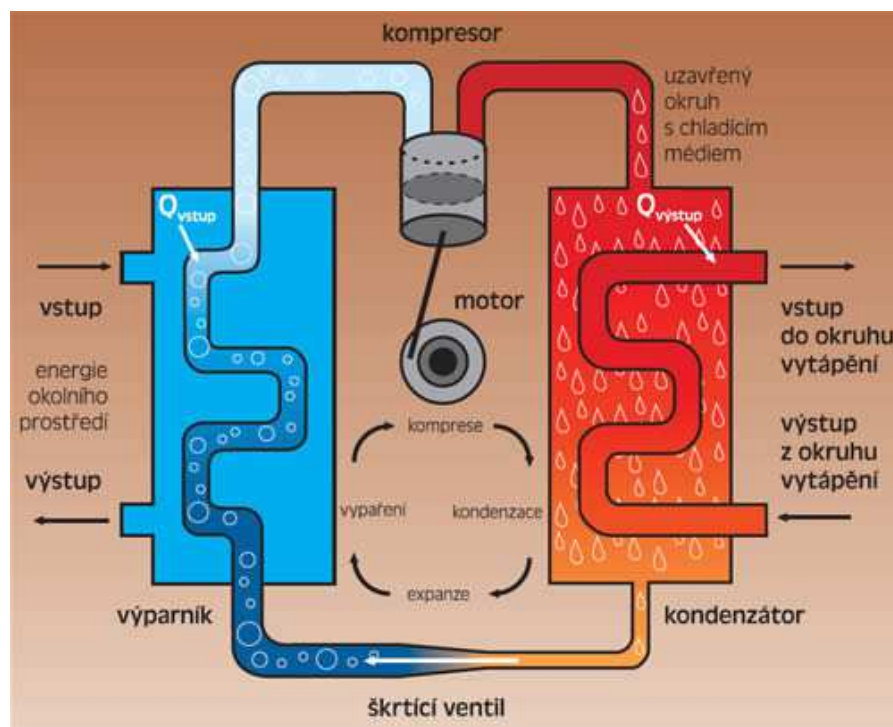
Tento systém je založen na Peltierově jevu. Podstatou je pohyb elektronů v důsledku působení elektrického pole. Dochází k němu na spojích a přechodech nehomogenních vodivých obvodů. V místech s přebytkem elektronů zaznamenáváme nárůst teploty. Naopak na místech, kde je elektronů nedostatek, teplota poklesne. Uplatnění takovýchto článků je v praxi velmi malé. Lze je použít pouze tam, kde postačuje malý výkon (do 10W). [1]



Obr. 4 – Princip termoelektrického TČ [Zdroj: 1]

## 1.5 Princip kompresorového tepelného čerpadla

Teplo je z okolního prostředí odebíráno pomocí pracovní látky (vzduch, voda, solanka). Pracovní látkou je přeneseno do výparníku (primární strana), kde předá teplo chladivu. Kapalné chladivo se zahřátím odpaří. Kompresor páry chladiva nasává a stlačuje, čímž zvyšuje jejich teplotu. Takto zahřáté páry jsou dále odváděny do kondenzátoru, kde předají teplo ohřívané látce, zchladí se a změní skupenství zpět na kapalné. Kapalné chladivo je přes expanzní ventil přivedeno zpět do výparníku a celý proces se spojitě opakuje. [2]



Obr. 5 – Princip kompresorového TČ [Zdroj: 3]

### 1.5.1 Hlavní části kompresorového tepelného čerpadla

**Výparník** – výměník tepla sloužící k přenosu tepla mezi zdrojem nízkopotenciálního tepla (voda, solanka) a chladivem, které se zde odpařuje. Provedení může být deskové nebo trubkové. Trubkové výměníky jsou vhodné pro chlazené vzduchem. Deskové výměníky jsou z jedné strany obtékány teplotonosnou látkou, z druhé strany chladivem.

**Kompresor** – zařízení nasávající páry chladicí kapaliny, které je následně stlačuje. U běžně používaných chladiv se pracuje s tlakem max. do 2,6 MPa. Tomuto tlaku odpovídají výstupní teploty 55 - 60°C. Je-li požadovaná teplota vyšší je nutné zvýšit tlaky, se kterými kompresor pracuje. Tím ale dochází k nárůstu spotřeby elektrické energie, a tím i vyššímu namáhání kompresoru. [4]

Kondenzátor – je výměník tepla sloužící k výměně tepla mezi chladivem a topným okruhem (voda). Konstrukce je stejná jako u výparníku.

Termostatický expanzní ventil (TEV) – je řídicí člen, který propouští takové množství chladiva do výparníku, kolik je potřeba k přenosu požadovaného tepelného výkonu

Systémy tepelných čerpadel dále obsahují mnoho dalších prvků, které se starají o bezpečnost, životnost a efektivnost provozu. [4]

### 1.5.2 Dělení kompresorových tepelných čerpadel podle typu kompresoru

Tepelná čerpadla lze rozdělit podle typu kompresoru následujícím způsobem:

- Tepelná čerpadla s pístovými kompresory – mají vyšší hlučnost a horší topný faktor. Jejich cena je nižší. Životnost pístového kompresoru je cca 15 let.
- Tepelná čerpadla se spirálovými kompresory scroll - dosahují nejlepších topných faktorů, mají vyšší cenu. Spirálové scroll kompresory mají až o 20% větší účinnost než kompresory pístové. Jejich životnost se pohybuje kolem 20 let.
- Tepelná čerpadla s rotačními kompresory – dosahují nižších topných faktorů. Hodí se pro nižší výkony. Využívají se především v klimatizačních jednotkách.
- Tepelná čerpadla se šroubovými kompresory – Používají se tam, kde je potřeba velký výkon (průmyslové speciální aplikace). [5]

### 1.5.3 Dělení kompresorových tepelných čerpadel podle zdroje tepla

Kompresorová tepelná čerpadla dělíme na několik typů. Každý je označen dvěma slovy, oddělenými pomlčkou. První slovo v označení udává prostředí, ze kterého je teplo odebíráno primární stranou. Druhé slovo udává druh chladiva, kterému je teplo předáváno na sekundární straně. Například označení *země-voda* říká, že teplo je odebíráno ze země a je předáváno vodě v topném okruhu.

#### TČ vzduch-vzduch

Zdrojem tepla pro tento typ TČ je venkovní vzduch nebo odpadní vzduch. Teplo je předáváno vzduchu na sekundární straně čerpadla. V případě, že teplo odebíráme z venkovního vzduchu, využíváme energii slunce, která tento vzduch ohřívá. Nevýhodou tohoto provozu je, že v době, kdy je potřeba nejvíce topit, je venkovní vzduch nejchladnější. Čerpadlo je možné provozovat při venkovních teplotách až -18°C. Topný faktor však při

těchto teplotách značně klesá a TČ již není schopné efektivně vytápět daný objekt. V tomto případě využíváme tzv. bivalentní provoz. To znamená, že výkon čerpadla je částečně nebo úplně nahrazen jiným zdrojem.

Při ochlazování vzduchu ve výparníku dochází ke kondenzaci vlhkosti obsažené ve vzduchu. Při běžných teplotách nad nulou kondenzát volně odtéká (odtok musí být zajištěn). Při nižších teplotách vzniká na ploše výparníku námraza. Tu je nutné průběžně odstraňovat, aby nedošlo k selhání funkce výparníku. Námraza se v praxi odstraňuje několika způsoby. Nejčastěji se čerpadlo uvede do reverzního chodu, kdy se teplo odebírá z vytápěného prostředí a produkované teplo se využije pro ohřátí a odtání výparníku. Dalším, ale už ne tak často používaným způsobem, je vnější ohřev, který zajišťuje elektricky napájené topné tělísko.

Používáme li jako zdroj tepla odpadní vzduch, jedná se o vzduch z různých technologických procesů, nebo větrání budov. Využívání tepla z odvětrávaného vzduchu říkáme rekuperace. Běžně se dosahuje účinnosti 50%, někteří výrobci udávají až 70%. [2]



Obr. 6 – TČ s využitím odpadního vzduchu [Zdroj: 6]



### TČ vzduch-voda

Princip je stejný jako u typu vzduch-vzduch. Teplo je zde ale na sekundární straně předáváno vodě, která zde plní funkci teponosné látky.

Oba tyto typy je možné instalovat ve dvou provedeních. Podle umístění výparníku pak mluvíme o TČ s venkovní nebo vnitřní instalací.

U provedení s venkovní instalací je výparník umístěn poblíž vytápěného objektu (typ vzduch-voda) nebo přímo na objektu (vzduch-vzduch) a ostatní příslušenství je umístěno uvnitř objektu. Zde je nutné zohlednit hlučnost zařízení a pro instalaci připravit pevný a vodorovný základ.

TČ s vnitřní instalací je možné provozovat i v objektech bez vlastního pozemku. Samotné čerpadlo je umístěno ve sklepě, technické místnosti, na půdě či v garáži a vzduch je k němu přiváděn vzduchotechnickým potrubím. [2]



Obr. 7 – TČ vzduch-voda [Zdroj: 6]

### TČ voda-voda

Jako zdroj tepla je zde použita povrchová, podpovrchová, voda z hlubinných vrtů, nebo odpadní voda z čističek a chladících procesů.

- Voda-voda: podpovrchová voda

Největší výhodou použití spodní vody je to, že i v nejchladnějším zimním období zůstává teplota vody v rozmezí 8-12°C. Tím dosahuje vysokého topného faktorů po celý rok. Tento typ ovšem nelze instalovat ve všech lokalitách. Důvodem je nedostatek spodní vody v potřebném množství a kvalitě. Aby bylo možné instalaci realizovat, je nutné provést

2 vrty/studny. První se používá k čerpání vody do TČ (tzv. čerpací studna) a druhá pro odvod ochlazené vody (tzv. vsakovací studna).

Podle hladiny spodní vody se studny hloubí do 5-15 metrů. Vzdálenost mezi studnami je 15 metrů. Podle zvoleného typu TČ je nutné, aby studna poskytovala potřebné množství vody. Jaké množství vody bude studna schopna dodávat se zjistí několikanásobným zkušebním čerpáním. Dále je nutné kontrolovat, zda se kvalita a množství vody nemění a především dbát při realizaci na to, aby se ochlazená voda nevracela do země v blízkosti čerpací studny. [2]



Obr. 8 – TČ voda-voda [Zdroj: 6]

V případě hlubinných vrtů je dobré vědět, že do 3 metrů pod povrchem je teplota stále ovlivňována změnami klimatických podmínek na povrchu. U hlubších vrtů pak teplota stoupá přibližně o 3°C na 100 metrů hloubky. V oblastech kde není spodní voda je možné použít suchý výměník. [2]

- Voda-voda: povrchová voda

Zde se využívá tepla obsaženého v rybnících, jezerech nebo řekách.

Problémem tohoto typu TČ jsou velké nároky na čistotu, složení, teplotu a množství vody. Například teplota říčních toků v zimě klesá pod 4°C, tedy pod teplotu kterou jsou tato TČ schopna využívat.

- Voda-voda: geotermální voda

Je-li teplota geotermální vody vyšší než 50°C, je možné její teplo využívat přímo k vytápění nebo ohřevu TUV. Při nižších teplotách je nutné použít TČ. [1]

### **TČ země-voda**

Tento typ TČ získává tepelnou energii ze země pomocí dvou základních druhů kolektorů. Jedná se buď o horizontálně uložené zemní kolektory nebo zemní sondy. Takto získanou energii transformují na vyšší teplotní úroveň, využitelnou pro vytápění nebo ohřev užitkové vody. Jelikož je tepelný výkon tohoto TČ jen velmi málo závislý na atmosférických vlivech, je jeho topný faktor téměř konstantní po celý rok.

- Země-voda: zemní kolektory

Kolektory tohoto TČ se do země ukládají horizontálně do hloubky 2 metrů. V této hloubce není teplota ovlivňována atmosférickými vlivy a TČ tak může být provozováno po celý rok, což je jeho značnou výhodou. Nevýhoda je náročnost na velikost pozemku pro uložení kolektorů. Velikost potřebného pozemku bývá 2-3x větší než plocha vytápěného objektu. V zemi uložený potrubní systém kolektorů je naplněn teplonosnou nemrznoucí látkou (solankou), která musí splňovat požadavky nezávadnosti pro životní prostředí. Uložení kolektorů se provádí buď meandrovitě nebo do tvaru šroubovice. [2]



Obr. 9 – Meandrovité uložení [Zdroj: 7]



Obr. 10 – Uložení do šroubovice [Zdroj: 8]

Využitelné množství tepla a tím i velikost potřebné plochy určují termofyzikální vlastnosti půdy spolu s klimatickými poměry. Termofyzikální vlastnosti půdy jsou silně závislé na složení půdy a patří mezi ně například objemová tepelná kapacita nebo tepelná vodivost. Rozhodující je zde obsah vody, minerálů, podíl a velikost pórů. Akumulační schopnost půdy a její tepelná vodivost jsou tím větší, čím více je v půdě obsaženo vody a minerálů. Naopak, čím větší je podíl vzduchu v půdě, tím horší jsou požadované vlastnosti. [2]

- Země-voda: zemní sondy

Princip získávání tepla je stejný jako u TČ se zemními kolektory. Ty jsou zde nahrazeny zemními sondami, které se ukládají svisle pomocí vrtných zařízení. Výhodou jsou zde malé nároky na velikost pozemku a je tedy možné toto TČ instalovat i v hustěji zastavěných oblastech. Hloubka vrtu opět závisí na vlastnostech půdy (horniny), do které je sonda uložena. Měrný výkon se pohybuje mezi 30-100W na metr sondy. Je-li potřeba, je možné použít i několik sond pro jedno TČ.

Sonda se skládá z patky a polyetylenových trubek, které jsou uloženy do připraveného vrtu o rozměru 120-150mm. Vrt je následně zpevněn suspenzí. Ta zajišťuje trvalé a fyzikálně stabilní spojení sondy s horninou a tím i dobrý přestup tepla. [2]



Obr. 11 –TČ země-voda s hlubinným vrtem [Zdroj: 6]

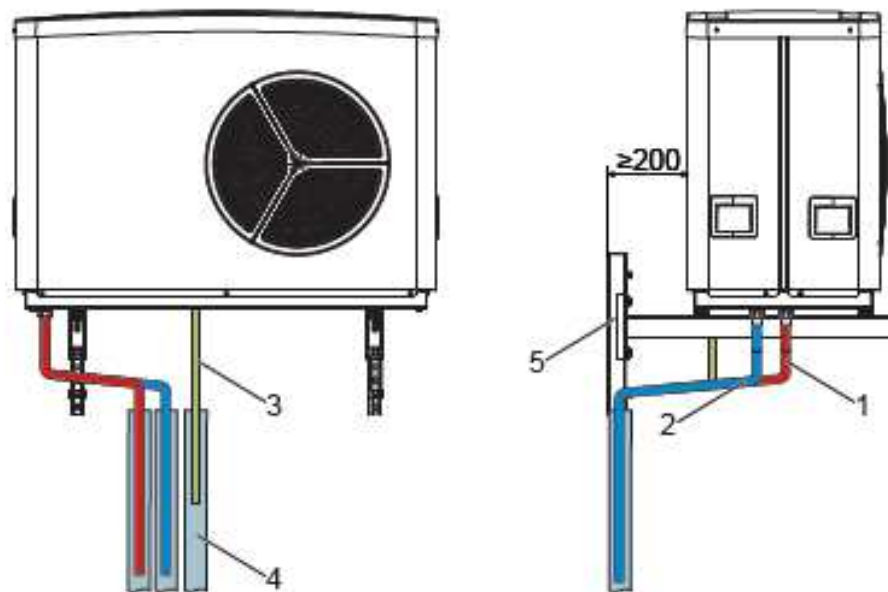
## 2 Technicko-ekonomická analýza provozu

K analýze byl vybrán rodinný dům umístěný poblíž města Tábor. Jedná se o dvoupodlažní stavbu s vytápěným prostorem 125m<sup>2</sup>. Původní záměr byl vytápět tento objekt elektrickým kotlem. Majitel rozhodnutí během výstavby změnil a rozhodl se pro použití TČ. Pro daný objekt bylo zvoleno TČ Stiebel Eltron WPL 10 AC. Systém vytápění pomocí radiátorů zůstal původní. Tepelný spád radiátorů je 55/45. Denní spotřeba TUV je cca 200 litrů.

### 2.1 Technická analýza

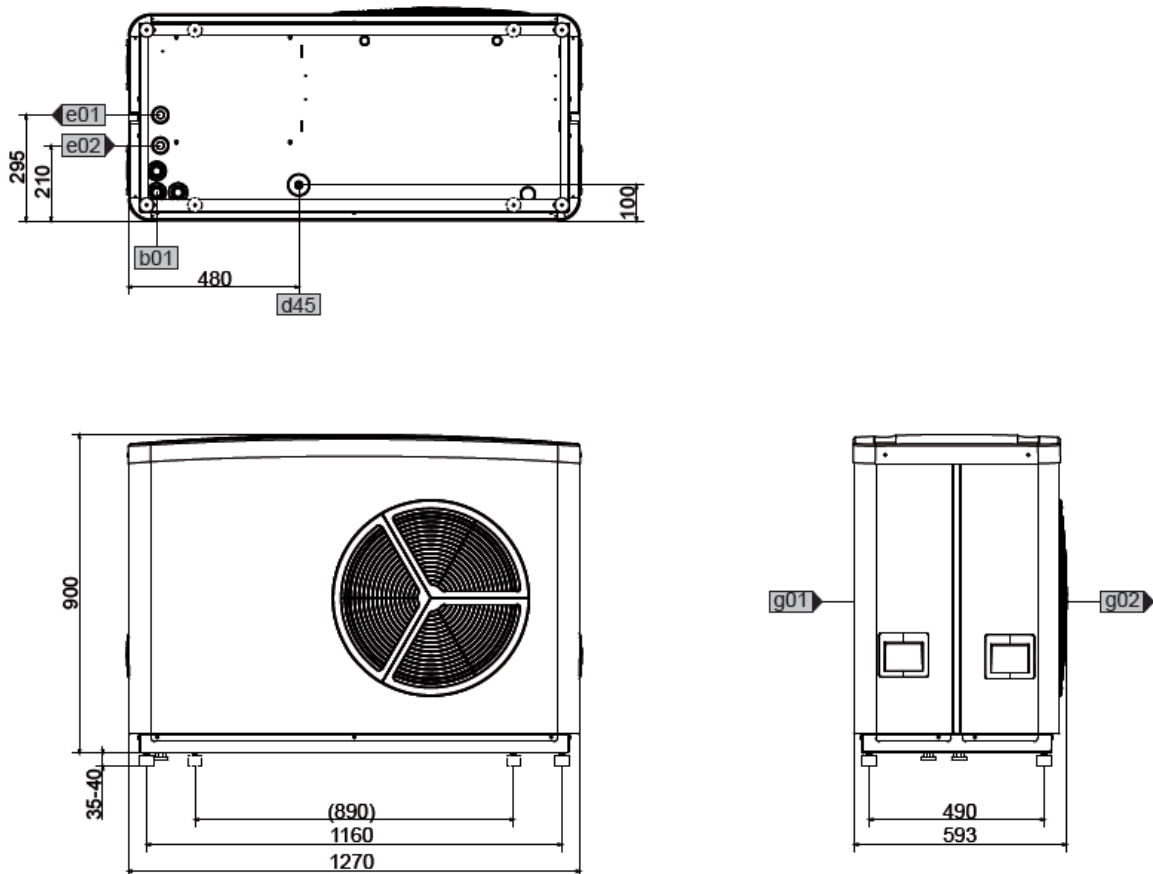
#### 2.1.1 Venkovní jednotka

Jedná se TČ vzduch-voda s venkovní instalací a topným výkonem 6,74 kW při A2/W35 (teplota vzduchu 2°C a výstupní teplota vody 35°C). Topný faktor při A2/W35 je 3,51. Instalace venkovní jednotky byla provedena na zadní stěnu objektu do výšky 1,5m metru od země pomocí nástěnné konzoly WK-WPL. Vnější obložení jednotky je vyrobeno z žárově zinkovaného plechu s vypalovaným lakem. Tím je chráněno proti korozi.



Obr. 12 – Venkovní jednotka [Zdroj:9]; 1 - výstupní strana, 2 - vratná voda topného okruhu, 3 - hadice k odvodu kondenzátu, 4 - drenážní trubka, 5 - nástěnná konzola





Obr. 13 – Rozměry venkovní jednotky v mm [Zdroj: 10];  
*b01 - průchodka el. rozvodů, e01 - topná strana, e02 - vratná strana, d45 - odvod kondenzátu, g01 - vstup vzduchu, g02 výstup vzduchu*

### 2.1.2 Ostatní komponenty

Jako chladivo je zde použita látka s označením R407C. Jedná se o chladicí plyn, který je extrémně hořlavý a těžší než vzduch. Pro člověka nepředstavuje žádné riziko a nepředpokládají se ani dlouhodobé negativní účinky na životní prostředí.

Dalším nezbytnou součástí je ochrana rozvodů topné vody proti zamrznutí. Integrovaný spínač ochrany spíná oběhové čerpadlo až tehdy, je-li kondenzátor zahřán na 8°C. Tím je zajištěna cirkulace ve všech součástech, které vedou vodu. Pokud klesne teplota vody v akumulacním zásobníku, dochází nejpozději při poklesu na teplotu 5°C k automatickému spuštění TČ.

Venkovní jednotka je k vnitřnímu potrubí připojena pomocí pružných tlakových hadic, označených SD 25-1. Tyto tlakové hadice fungují jako tlumiče vibrací a do značné míry zabraňují přenosu zvuku materiálem.

Jednotka je dále vybavena nouzovým/přídavným topením (DHC). Při poklesu teploty pod bivalentní bod přídavné topení spíná a pomáhá TČ dosáhnout požadovaných teplot na

výstupu. V případě teplot venkovního vzduchu pod  $-20^{\circ}\text{C}$  je TČ odstaveno a náhradní zdroj přebírá celý výkon.

Akumulační zásobník SPB 100 slouží k hydraulickému rozdělení objemových proudů v okruhu tepelného čerpadla a v topném okruhu. Dále má funkci zdroje energie k rozmrazování výparníku a zlepšení komfortu při výpadku sazby HDO. Kapacita zásobníku je 100 litrů a provozní přetlak do 0,3 MPa.



Obr. 14 – Akumulační zásobník [Zdroj: 10]



Obr. 15 – Zásobník TUV [Zdroj: 10]

Zásobník TUV SBB 301 WP SOL má kapacitu 300 litrů. Je vybaven teplotním čidlem, teploměrem, signální a ochranou magneziovou anodou. Označení zásobníku SOL znamená, že je možné k systému připojit solární kolektory.

System dále obsahuje teplotní čidla, oběhová čerpadla a hlavní ovládací panel.

Hlavní ovládací panel obsahuje uživatelské rozhraní, kde je možné nastavit nejen požadované teploty ve vytápěném objektu, ale i časovač nebo temperování objektu v době nepřítomnosti majitele.



Obr. 16 – Hlavní ovládací panel [Zdroj: 10]

Teplotní čidla snímají teplotu venkovního vzduchu, vnitřní teplotu vzduchu, teplotu vody v radiátorech, v akumulacním zásobníku a v zásobníku TUV. Podle naměřených hodnot určuje řídicí jednotka stav systému. Podle vyhodnoceného stavu je systém regulován nebo v případě poruchy odstaven.

Schéma zapojení je znázorněno na výkresu volně přiloženém v práci.



## 2.2 Ekonomická analýza

Majiteli objektu byla vypracována cenová nabídka, která je přiložena jako příloha č. 1. Celkové pořizovací náklady byly 287 468 Kč bez DPH. V ceně jsou zahrnuty montážní a stavební práce, revize, projekty, doprava a likvidace odpadů.

Ekonomickou analýzu pro tuto diplomovou práci jsem vypracoval pomocí softwaru zapůjčeného panem Ing. Davidem Šafránkem.

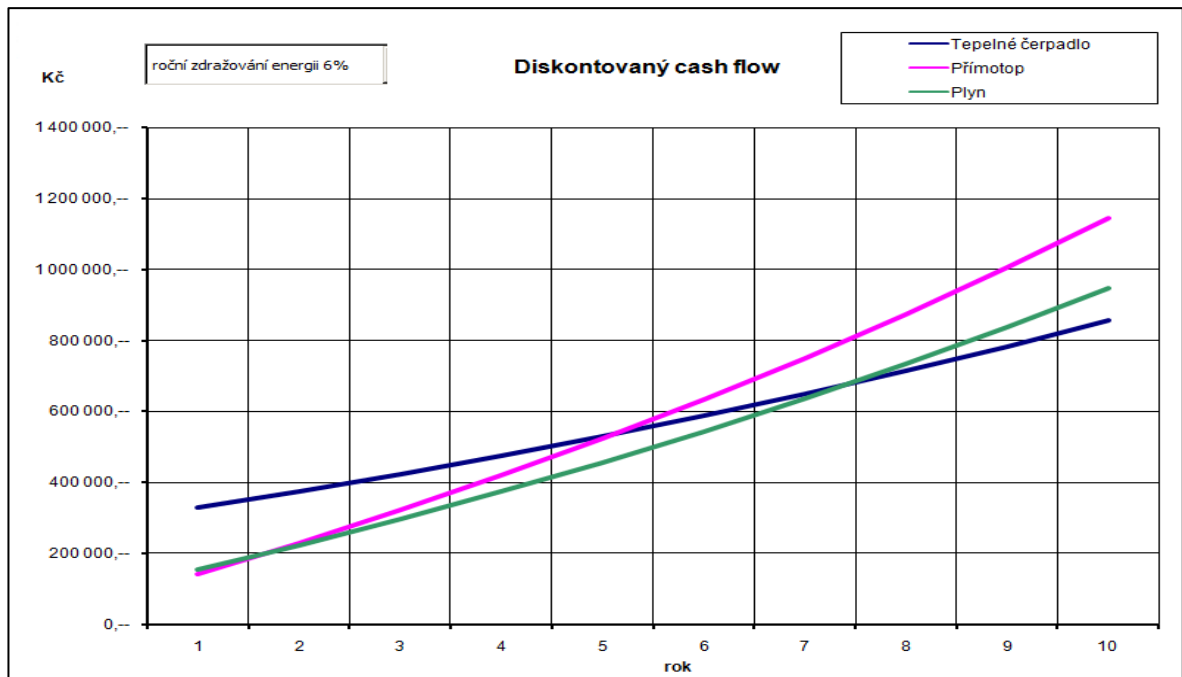
Požizovací náklady, náklady na energie/rok nebo návratnost investice proti jiným zdrojům tepla je možné odečíst z níže uvedené výpočtové tabulky. Ceny energií jsou platné pro PRE a Středočeskou plynárenskou a. s.

vnitřní výpočtová teplota	21	°C
venkovní výpočtová teplota	-15,0	°C
tepelná ztráta	8	kW
počet tepelných čerpadel - souprav	1	ks
výpočtová teplota topné soustavy	55	°C
teplotní spád soustavy	10	K
koeficient útlumu, doporučujeme k = 0,68	0,68	-
denní spotřeba TUV	200	l/den
výkon potřebný pro ohřátí TUV za 22 hodin	0,5	kW
náklady na elektřinu v domácnosti v D 02d	20 000,--	Kč/rok

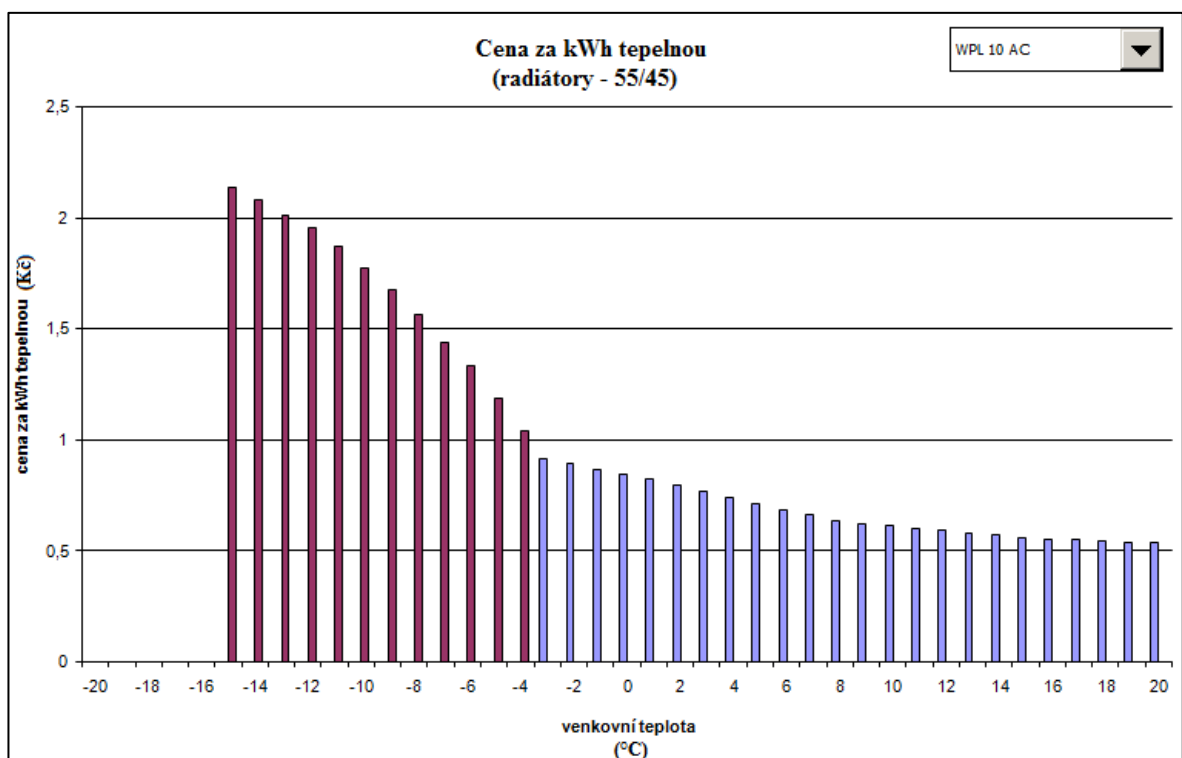
		1 x WPL 10 AC	elektrokotel	plyn	dálkové teplo
celkem proud - hodnota jističe pro paušál	A	3 x 32	3 x 32	3 x 25	3 x 25
roční potřeba tepla pro topení	kWh/ rok	20 911	20 911	20 911	20 911
roční potřeba tepla pro topení	GJ / rok	75	75	75	75
roční potřeba tepla pro TUV	kWh/rok	4 245	4 245	4 245	4 245
roční potřeba tepla pro TUV	GJ / rok	15	15	15	15
roční potřeba tepla celkem	kWh/ rok	25 156	25 156	25 156	25 156
spotřeba kompresorů pro topení a TUV	kWh/ rok	7 093			
spotřeba bivalentních zdrojů - topných přírub a vestavěného elektrokotle	kWh/ rok	3 342			
odběr energie celkem	kWh/ rok	10 434	25 156	25 156	25 156
podíl bivalentních zdrojů	%	32,0%	100%	100%	100%
cena paušálu za elektroměr D 56d	Kč/ rok	5 750,--			
cena paušálu za elektroměr D 45d	Kč/ rok		5 748,--		
cena paušálu za elektroměr D 02d	Kč/ rok			1 704,--	1 704,--
cena paušálu za plynoměr	Kč/ rok			3 348,--	
cena za 1 kWh elektrickou v D 56d	Kč / kWh	2,57			
cena za 1 kWh elektrickou v D 45d	Kč / kWh		2,63		
cena za 1 kWh elektrickou v D 02d	Kč / kWh			4,55	
cena za 1 kWh v plynu	Kč / kWh			1,59	
cena za 1 kWh v dotopu pro TČ	Kč / kWh	2,57			
cena za 1 GJ v dálkovém teple	Kč / GJ				650,--
cena za 1 kWh v dálkovém teple	Kč / kWh				2,34
roční náklad na topení a TUV bez paušálů	Kč/ rok	26 848,--	66 111,--	39 999,--	58 866,--
náklad na elektřinu v domácnosti v D02	Kč/ rok			20 000,--	20 000,--
náklad na elektřinu v domácnosti v D56	Kč/ rok	10 574,--	10 574,--		
<b>náklad na energie celkem s paušály*</b>	<b>Kč/ rok</b>	<b>43 172,--</b>	<b>82 433,--</b>	<b>65 051,--</b>	<b>80 570,--</b>
investice - technologie tepelného čerpadla	Kč	287 468,--	60 000,--	90 000,--	1,--
<b>investice technologie celkem</b>	<b>Kč</b>	<b>287 468,--</b>	<b>60 000,--</b>	<b>90 000,--</b>	<b>1,--</b>
návratnost proti přímotopu	roku	5,8			
návratnost proti plynu	roku	9,0			
návratnost proti dálkovému teple	roku	7,7			

Tab. 1 – Ekonomická analýza provozu [Zdroj: 13]

V následujícím grafu můžeme vidět tzv. diskontovaný cash flow pro tepelné čerpadlo, elektrický kotel a plynový kotel. Do výpočtu je zahrnuto 6% zdražení energií každý rok. Za 10 let provozu včetně pořizovacích nákladů majitel zaplatí 835 000 Kč.



Graf 1 – Investice + náklady na vytápění [Zdroj: 13]



Graf 2 – Cena za kWh tepelnou v závislosti na venkovní teplotě [Zdroj: 13]

Z druhého grafu je patrná závislost tepelného výkonu TČ na teplotě venkovního vzduchu a s tím spojené náklady na vytápění. Od -4°C je zřejmé zapojení záložního topení.

### 3 Přednosti a nedostatky analyzovaného provozu

Přednosti a nedostatky TČ WPL 10 AC (vzduch-voda)	
+	Snadná instalace bez velkých stavebních úprav.
+	Instalace bez nutnosti zásahu do okolního prostředí (žádné kolektory, vrty, atd.).
+	Nižší pořizovací náklady (žádné náklady na vrty, výkopové práce, atd.).
+	Neomezené množství vzduchu.
+	Možnost reverzního chodu - ochlazování objektu v letních měsících.
-	Hlučnost ventilátoru venkovní jednotky.
-	Závislost na teplotě venkovního vzduchu - nárůst spotřeby el. energie a vyšší opotřebení kompresoru.
-	Nutnost záložního zdroje tepla.

Tab. 2 – Přednosti a nedostatky analyzovaného provozu [Zdroj: vlastní]

Jedním z největších nedostatků TČ typu vzduch-voda je velká závislost výkonu a COP na klimatických podmínkách v místě instalace. Tato závislost zřejmá z grafu č 2.

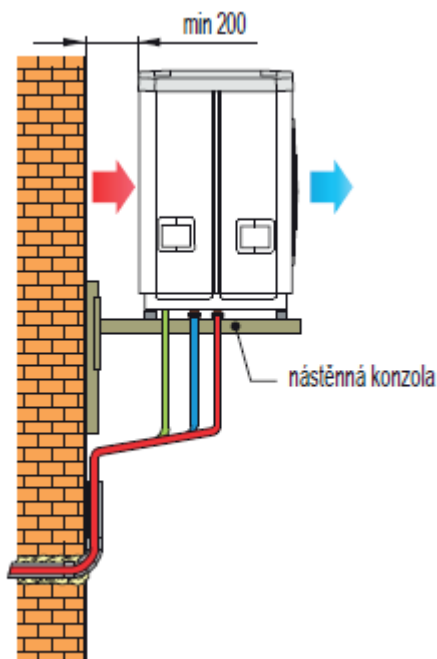
Hlavním nedostatkem analyzovaného provozu jsou použité radiátory s teplotním spádem 55/45. TČ tak musí dosahovat na výstupu teploty 55°C což se stává problematickým v zimních obdobích, kdy teplota venkovního vzduchu klesá pod -2°C. TČ sice požadované teploty dosáhne i při nižších teplotách, ale za cenu vyšší spotřeby, vyššího opotřebení kompresoru nebo zapojení záložního topení.

Druhým největším problémem bývá hlučnost ventilátoru venkovní jednotky. Tabulka č.3 udává hodnoty akustického výkonu jednotlivých typů TČ vzduch-vzduch. Jedná se o hodnoty změřené společností Stiebel Eltron. Reálné hodnoty se mohou lišit v závislosti na kvalitě provedení instalace a umístění. V případě analyzovaného objektu je venkovní jednotka instalována směrem do otevřeného prostoru, hodnoty uvedené v tab. č 3 tedy můžeme považovat za skutečné.

HLADINA AKUSTICKEHO TLAKU										
Typ tepelného čerpadla		Akustický výkon na mřížce	Vzdálenost od tepelného čerpadla ( m )							
			1	3	5	6	7	8	9	10
WPL 10	vnitřní	62,00	54,00	44,46	40,02	38,44	37,10	35,94	34,92	34,00
WPL 10	venkovní	65,00	57,00	47,46	43,02	41,44	40,10	38,94	37,92	37,00
WPL 10 AC	venkovní	60,00	52,00	42,46	38,02	36,44	35,10	33,94	32,92	32,00
WPL 13	vnitřní	62,00	54,00	44,46	40,02	38,44	37,10	35,94	34,92	34,00
WPL 13	venkovní	65,00	57,00	47,46	43,02	41,44	40,10	38,94	37,92	37,00
WPL 18	vnitřní	62,00	54,00	44,46	40,02	38,44	37,10	35,94	34,92	34,00
WPL 18	venkovní	65,00	57,00	47,46	43,02	41,44	40,10	38,94	37,92	37,00
WPL 23	vnitřní	62,00	54,00	44,46	40,02	38,44	37,10	35,94	34,92	34,00
WPL 23	venkovní	65,00	57,00	47,46	43,02	41,44	40,10	38,94	37,92	37,00
WPL 15	venkovní	54,00	46,00	36,46	32,02	30,44	29,10	27,94	26,92	26,00
WPL 25	venkovní	54,00	46,00	36,46	32,02	30,44	29,10	27,94	26,92	26,00
WPL 33	vnitřní	62,00	54,00	44,46	40,02	38,44	37,10	35,94	34,92	34,00
WPL 33	venkovní	65,00	57,00	47,46	43,02	41,44	40,10	38,94	37,92	37,00

Tab. 3 – Hlučnost zařízení [Zdroj: Ing. David Šafránek]

Hlavní předností tohoto tepelného čerpadla je jeho snadná instalace bez nutnosti větších stavebních úprav a nenáročnost na pozemek. Jednoduchost instalace zajišťuje nástěnná konzola WK-WPL z pozinkové oceli, vybavená topným kabelem pro vyhřívání odváděného kondenzátu.



Při instalaci musí být zachovány následující odstupy od zařízení (při pohledu zepředu): 500mm vpravo;

1000mm vlevo;

200mm za;

3000mm před;

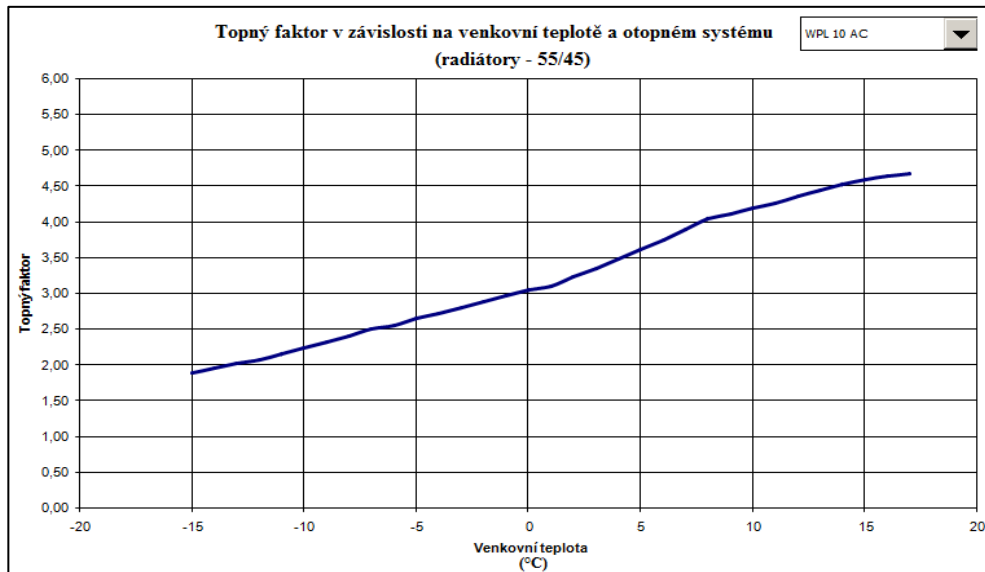
800mm nad tepelným čerpadlem.

Obr. 17 – Instalace venkovní jednotky [Zdroj: 11]

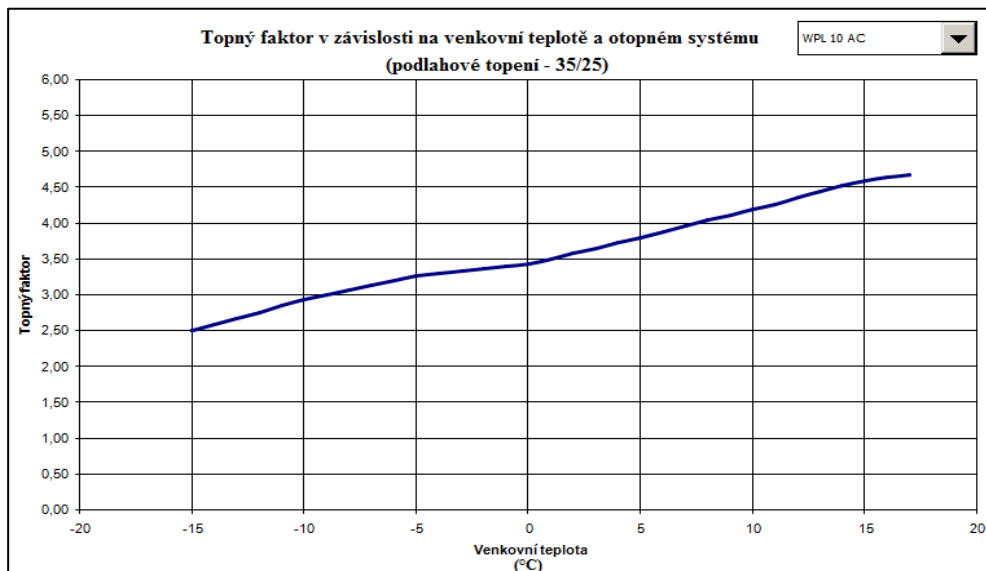
## 4 Návrh zefektivnění provozu TČ

Protože k rozhodnutí použít TČ jako zdroj tepla došlo až v době, kdy byly nainstalovány radiátory s teplotním spádem 55/45, bylo TČ připojeno na tyto radiátory. Návrhem pro zefektivnění provozu je rekonstrukce topného systému s použitím podlahového vytápění. Podlahové vytápění bude mít tepelný spád 35/25.

### Porovnání závislostí topných faktorů na venkovní teplotě u obou topných systémů.



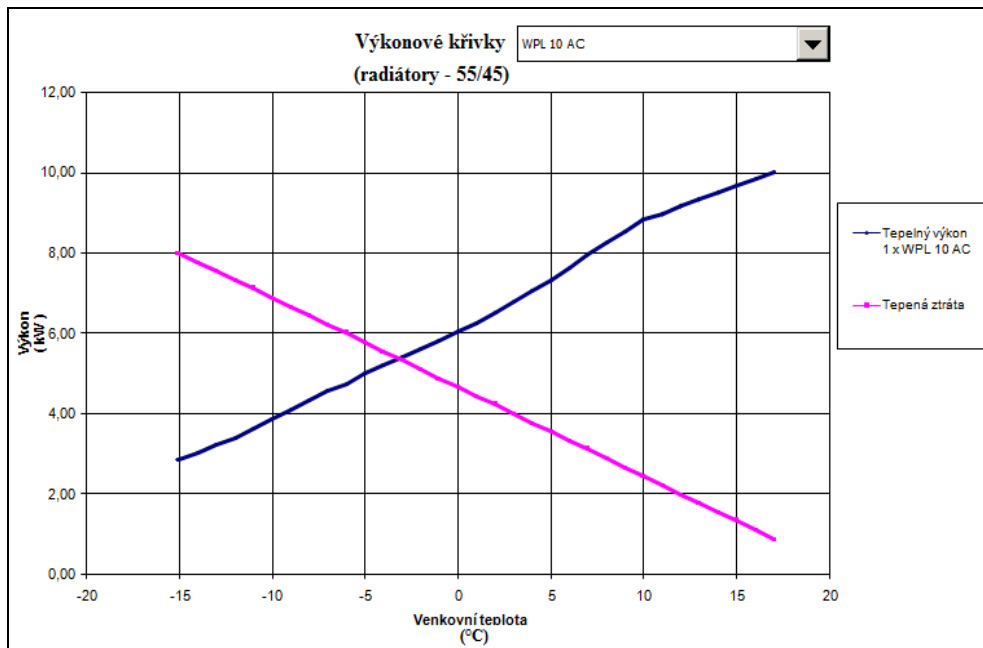
Graf 3 – Závislost topného faktoru na venkovní teplotě - radiátory [Zdroj: 13]



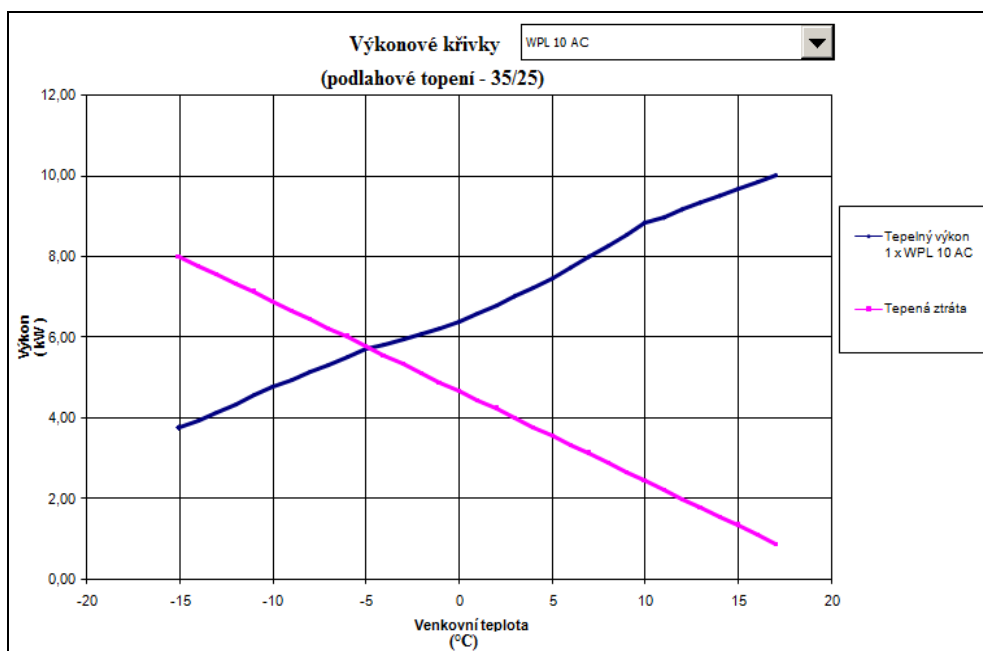
Graf 4 – Závislost topného faktoru na venkovní teplotě - podlahové topení [Zdroj: 13]

Jak je vidět z těchto dvou grafů, topný faktor se při nejnižších teplotách zvýší o 0,75.

### Porovnání výkonových křivek tepelného čerpadla pro oba topné systémy.



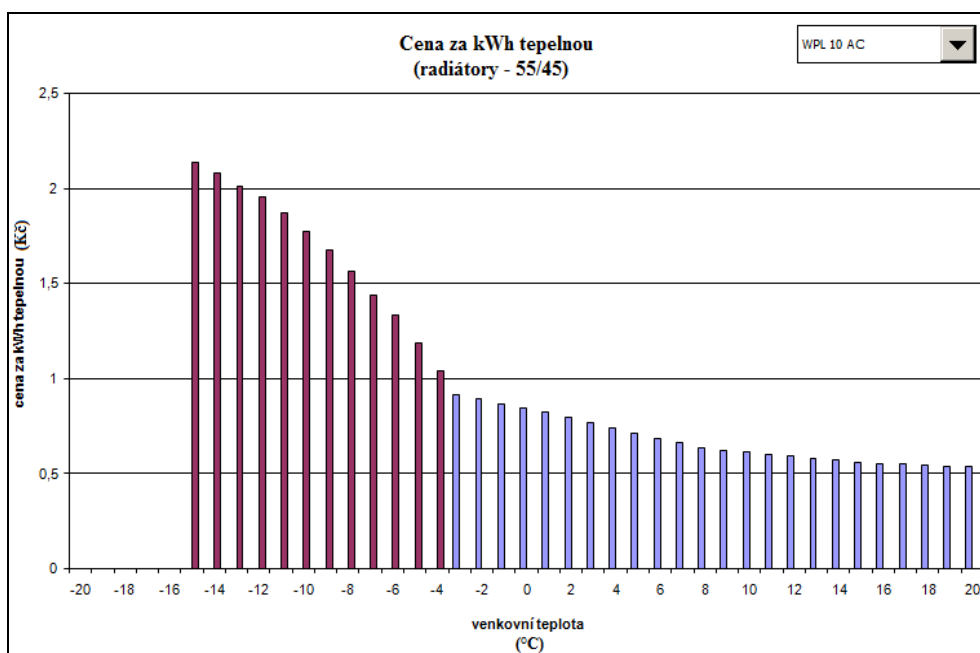
Graf 5 – Výkonová křivka - radiátory [Zdroj: 13]



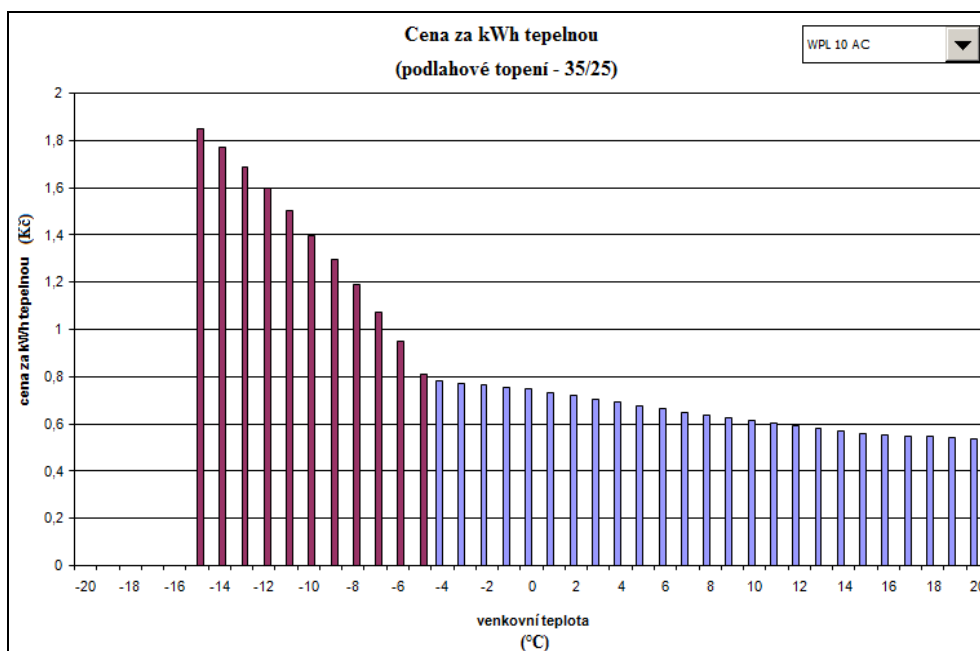
Graf 6 – Výkonová křivka - podlahové topení [Zdroj: 13]

Při venkovních teplotách  $-15^{\circ}\text{C}$ , kdy je potřeba pokrýt maximální tepelnou ztrátu objektu, je tepelný výkon zařízení ve spojení s radiátory  $2,9\text{kW}$ . Při použití podlahového topení je pak tepelný výkon o  $1\text{kW}$  vyšší.

## Porovnání cen za 1 tepelnou kWh v závislosti na venkovní teplotě a topném systému.



Graf 7 – Cena za kWh tepelnou v závislosti na teplotě - radiátory [Zdroj: 13]

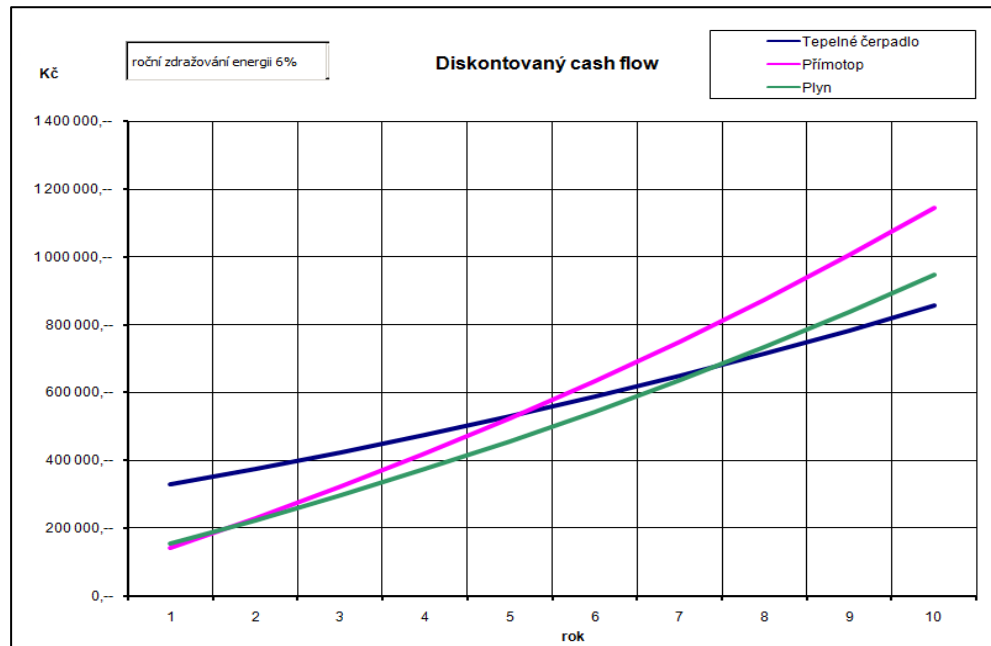


Graf 8 – Cena za kWh tepelnou v závislosti na teplotě - podlahové topení [Zdroj: 13]

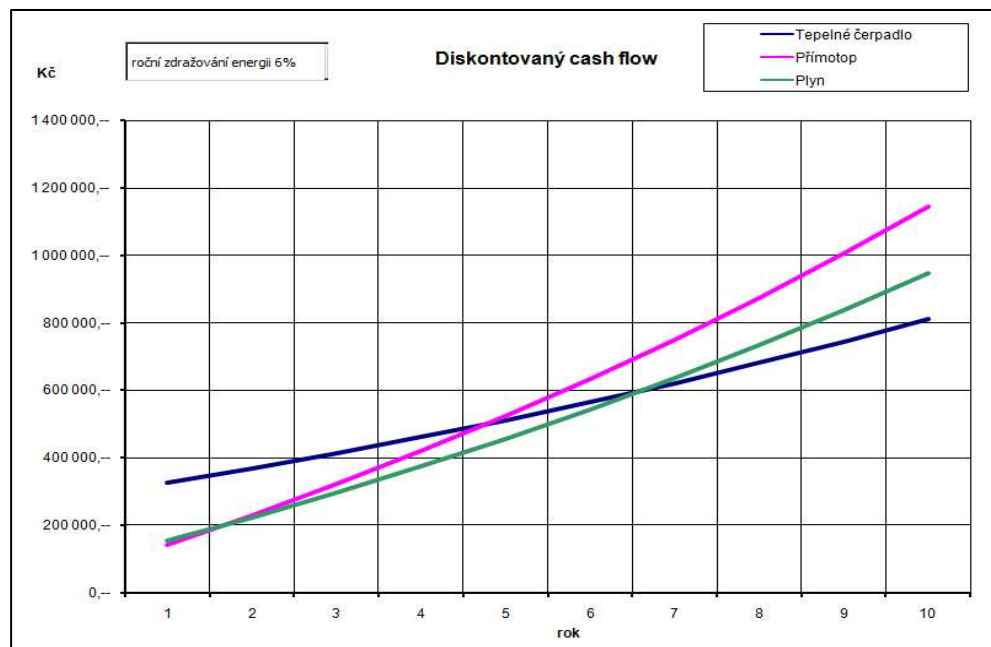
Z grafů vyplývá, že cenový rozdíl za 1 tepelnou kWh u použitých topných systémů je 0,34 Kč ve prospěch podlahového topení.

### Porovnání nákladů na vytápění za 10 let provozu pro jednotlivé topné systémy.

V grafech jsou porovnávány náklady tepelného čerpadla s jinými tepelnými zdroji. Do výpočtu je zahrnuto 6% roční zdražování energií.



Graf 9 – Diskontovaný cash flow - radiátory [Zdroj: 13]



Graf 10 – Diskontovaný cash flow - podlahové topení [Zdroj: 13]

Po deseti letech provozu zaplatí majitel vytápěného objektu s navrhovaným podlahovým topením o 33 750 Kč méně.



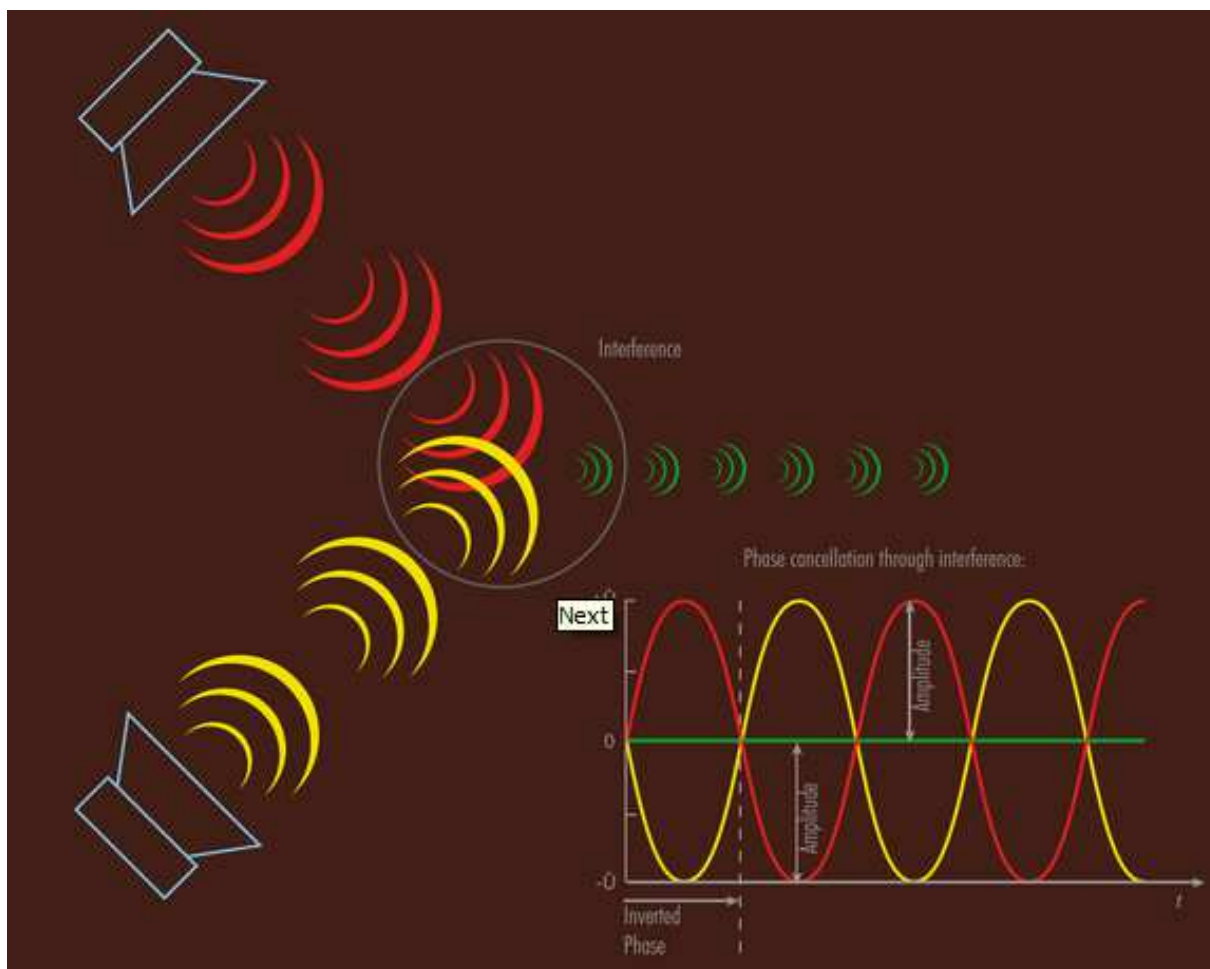
### Hluk venkovní jednotky

Jak už bylo výše řečeno, problémem TČ vzduch-voda může být nadměrná hlučnost venkovní jednotky. Hluk je způsoben rotací ventilátoru, vibracemi a také průchodem vzduchu mřížkou krytu a žebrováním výparníku.

Ačkoli snížení hlučnosti venkovní jednotky nijak nepřispěje k vyšší efektivitě provozu, může značně ovlivnit prostředí v místě instalace.

Tímto problémem se již delší dobu zabývá společnost Noctua, která vyrábí chladiče používané v počítačích. Celý systém je založen na principu destruktivní interference mezi hlukem způsobeným chodem ventilátoru a hlukem vycházejícím z reproduktoru. Citlivý mikrofon zaznamenává hluk způsobený ventilátorem a řídicí jednotka pomocí reproduktorů generuje stejné zvukové vlny, ale s přesně opačnou amplitudou. Dojde k součtu zvukových vln a výsledný hluk zařízení je nižší.

Princip tzv. Active Noise Cancellation je názorně zobrazen na následujícím obrázku.



Obr. 18 – Princip aktivního potlačení hluku [Zdroj: 12]

■ - Hluk zařízení    ■ - Hluk s opačnou amplitudou    ■ - Výsledný hluk

## Závěr

Cílem mé práce bylo provést technicko-ekonomickou analýzu vybraného provozu tepelného čerpadla, popsat přednosti a nedostatky analyzovaného provozu, navrhnout řešení vedoucí k zefektivnění daného provozu a uvést závěry pro praxi.

Jako řešení pro zlepšení efektivity analyzovaného provozu jsem navrhl výměnu stávajících radiátorů za nízkoteplotní podlahové topení.

Zvolením podlahového topení bylo dosaženo lepších výsledků všech analyzovaných údajů. Tepelné čerpadlo má s tímto druhem topení topný faktor 2,5 při venkovní teplotě  $-5^{\circ}\text{C}$ , což je o 0,75 více než s použitím radiátorů. Tepelný výkon při stejné teplotě je o 1kW vyšší. S tím je spojená i cena za 1 tepelnou kWh a celkové náklady na vytápění za období 10 let. Majitel za tuto dobu ušetří 33 750 Kč.

Ačkoli by rekonstrukce topného systému přinesla vyšší efektivitu daného provozu, investice do této rekonstrukce by musela být značná. Nebudeme-li počítat s žádnými dalšími náklady spojenými s rekonstrukcí, pouze materiál a práce dodavatelské firmy vychází přibližně na 1280 Kč/m<sup>2</sup>. Pro analyzovaný objekt to znamená investici 160 000 Kč a návratnost za více než 40 let. Podle mého názoru není investice s takovou dobou návratnosti výhodná.

Aplikace aktivního potlačení hluku u venkovní jednotky by přinesla vyšší komfort pro uživatele tepelných čerpadel. Tato problematika je ale mimo rámec diplomové práce.

## Použitá literatura a prameny

- [1] KOUBKOVÁ, Lucie. *Vytápění rodinného domu s využitím tepelného čerpadla*. Brno, 2008. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D. Dostupné z: [http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=5659](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5659).
- [2] BROŽ, Karel a Bořivoj ŠOUREK. *Alternativní zdroje energie*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003, 213 s. ISBN 80-010-2802-X.
- [3] BERANOVSKÝ, Jiří, Monika KAŠPAROVÁ, František MACHOLDA, Karel SRDEČNÝ a Jan TRUXA. Tepelná čerpadla - energie prostředí. In: *Ekowatt: Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie* [online]. 2007 [Cit. 15. 3. 2014]. Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-prostredi-geothermalni-energie-tepelna-cerpadla>.
- [4] ŽERAVÍK, Antonín a Bořivoj ŠOUREK. *Stavíme tepelné čerpadlo: návratnost i za jeden rok*. 1. vyd. Přerov: Antonín Žeravík, 2003, 311 s. ISBN 80-239-0275-X.
- [5] SRDEČNÝ, Karel, Jan TRUXA a Bořivoj ŠOUREK. *Tepelná čerpadla*. 2., aktualiz. vyd. Brno: ERA, 2007, 311 s. ISBN 80-736-6089-X.
- [6] *SVP Solar* [online]. SVP Solar: ©2010-2014 [Cit. 15. 3. 2014]. Dostupné z: <http://www.svp-solar.cz/tepelna-cerpadla/>.
- [7] KAPLAN, Mikita. *Ukázky pokládky kolektorů*. [Cit. 15. 3. 2014]. Dostupné z: [http://mujweb.cz/solfronk/ukazky\\_kolektory.php](http://mujweb.cz/solfronk/ukazky_kolektory.php).
- [8] EPD Třeštice. *Zemní kolektor tepelného čerpadla*. In: Rajče.net [online]. [Cit. 15. 3. 2014]. Dostupné z: [http://mirakor.rajce.idnes.cz/EPD\\_TRESTICE\\_-\\_ZEMNI\\_KOLEKTOR\\_TEPELNEHO\\_CERPADLA/#P1130877.jpg](http://mirakor.rajce.idnes.cz/EPD_TRESTICE_-_ZEMNI_KOLEKTOR_TEPELNEHO_CERPADLA/#P1130877.jpg).
- [9] STIEBEL ELTRON. *Obsluha a instalace: tepelné čerpadlo vzduch-voda*. Dostupné z: <http://www.tepelnacerpadla-cz.eu/128-servisni-sekce-navody.htm>. Se svolením Ing. Davida Šafránka.
- [10] STIEBEL ELTRON. *Technické informace - tepelná čerpadla*. Česká republika, 2012. Se svolením Ing. Davida Šafránka.
- [11] STIEBEL ELTRON. *Technické informace - stavební připravenost*. Česká republika, 2014. Se svolením Ing. Davida Šafránka.

- [12] JEŽEK, David. Noctua finišuje práce na aktivním potlačení hluku ventilátorů. In: *Deep in it* [online]. 18. 6. 2013 [Cit. 15. 3. 2014] Dostupné z: <http://diit.cz/clanek/noctua-finisuje-prace-na-aktivnim-potlaceni-hluku-ventilatoru>.
- [13] ŠAFRÁNEK, David, STIEBEL ELTRON spol. s r. o. *Výpočtový software pro tepelná čerpadla* [software]. Praha.

## Seznam obrázků

Obr. 1 – Schéma absorpčního TČ .....	11
Obr. 2 – Princip TČ se Stirlingovým oběhem .....	12
Obr. 3 – Schéma TČ s paroproudým oběhem .....	12
Obr. 4 – Princip termoelektrického TČ .....	13
Obr. 5 – Princip kompresorového TČ .....	14
Obr. 6 – TČ s využitím odpadního vzduchu .....	16
Obr. 7 – TČ vzduch-voda.....	17
Obr. 8 – TČ voda-voda .....	18
Obr. 9 – Meandrovité uložení kolektoru .....	19
Obr. 10 – Uložení kolektorů do šroubovice .....	19
Obr. 11 – TČ země-voda s hlubinným vrtem.....	20
Obr. 12 – Venkovní jednotka.....	21
Obr. 13 – Rozměry venkovní jednotky v mm .....	22

## Seznam tabulek

Tab. 1 – Ekonomická analýza provozu .....	25
Tab. 2 – Přednosti a nedostatky analyzovaného provozu .....	27
Tab. 3 – Hlučnost zařízení .....	28

## Seznam grafů

Graf 2 – Cena za kWh tepelnou v závislosti na venkovní teplotě .....	26
Graf 1 – Investice + náklady na vytápění .....	26
Graf 3 – Závislost topného faktoru na venkovní teplotě - podlahové topení.....	29
Graf 4 – Závislost topného faktoru na venkovní teplotě - radiátory.....	29
Graf 5 – Výkonová křivka - radiátory.....	30
Graf 6 – Výkonová křivka - podlahové topení .....	30
Graf 7 – Cena za kWh tepelnou v závislosti na teplotě - radiátory .....	31
Graf 8 – Cena za kWh tepelnou v závislosti na teplotě - podlahové topení .....	31
Graf 9 – Diskontovaný cash flow - radiátory.....	32
Graf 10 – Diskontovaný cash flow - podlahové topení .....	32

## **Seznam příloh**

Příloha 1 – Cenová nabídka

Příloha 2 (volně) – Schéma zapojení tepelného čerpadla