



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ENERGETICKÝ ÚSTAV**

ENERGY INSTITUTE

**VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO DOMU TEPELNÝM  
ČERPADLEM**

HEAT PUMP FOR RESIDENT HEATING

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Jan Abrahám

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

**BRNO 2018**



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav  
Student: **Jan Abrahám**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.**  
Akademický rok: 2017/18

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:

## Vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na reálné hodnocení provozních parametrů a ekonomické návratnosti instalace tepelného čerpadla pro vytápění rodinného domu.

V rámci práce bude představen princip tepelných čerpadel a uveden přehled používaných typů TČ. Pojednáno bude i o dostupných zdrojích tepelné energie pro TČ.

### Cíle bakalářské práce:

- Stručně představit princip TČ.
- Uvést přehled používaných typů TČ
- Provést technicko–ekonomické zhodnocení konkrétní instalace TČ.

### Seznam doporučené literatury:

PETRÁŠ, Dušan, 2008. Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie. Bratislava: Jaga. Vytápění. ISBN 9788080760694.

PAVELEK, Milan, 2011. Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 9788021443006.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá využitím tepelného čerpadla pro vytápění rodinného domu. V teoretické části je představen princip fungování tepelného čerpadla, vysvětlen topný faktor a popsány jednotlivé druhy tepelných čerpadel podle zdroje tepla včetně výhod a nevýhod. V praktické části jsou pak vypočteny tepelné ztráty vybraného objektu, následně navržen systém vytápění a nakonec je provedeno ekonomické zhodnocení a určena návratnost investice.

### **Klíčová slova**

Tepelné čerpadlo, topný faktor, tepelné ztráty, vytápění, ohřev teplé vody, návratnost

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis deals with the use of a heat pump for heating a family house. In the theoretical part of the thesis the principle of operation of the heat pump is introduced. This part also explains the coefficient of performance and describes the different types of heat pumps according to the heat source with their advantages and disadvantages. In the practical part the thermal losses of the selected building are calculated. The heating system is designed and finally the economical evaluation and the return of investment are determined.

### **Key words**

Heat pump, coefficient of performance, heat loss, heating, hot water heating, return of investments



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ABRAHÁM, J. *Vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 44 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D..



## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....  
Datum

\_\_\_\_\_  
Jan Abrahám



## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce.

---

podpis



## OBSAH

|       |                                                          |    |
|-------|----------------------------------------------------------|----|
| 1     | ÚVOD.....                                                | 15 |
| 2     | Tepelné čerpadlo.....                                    | 16 |
| 2.1   | Historie TČ .....                                        | 16 |
| 2.2   | Princip .....                                            | 17 |
| 2.3   | Chladiva .....                                           | 18 |
| 2.4   | Kompresory .....                                         | 18 |
| 2.4.1 | TČ s pístovým kompresorem .....                          | 18 |
| 2.4.2 | TČ se spirálovým kompresorem (SCROLL) .....              | 18 |
| 2.4.3 | TČ s rotačním kompresorem .....                          | 18 |
| 2.4.4 | TČ se šroubovým kompresorem .....                        | 19 |
| 2.5   | Topný faktor .....                                       | 19 |
| 2.6   | Značka kvality „Q“ .....                                 | 20 |
| 3     | Druhy TČ podle zdroje tepla .....                        | 21 |
| 3.1   | Vzduch – voda .....                                      | 21 |
| 3.2   | Země – voda.....                                         | 22 |
| 3.2.1 | Plošný kolektor.....                                     | 22 |
| 3.2.2 | Vrt.....                                                 | 23 |
| 3.3   | Voda – voda .....                                        | 25 |
| 3.3.1 | Varianta studna.....                                     | 25 |
| 3.3.2 | Varianta vodní plocha .....                              | 26 |
| 4     | Tepelné ztráty objektu .....                             | 27 |
| 4.1   | Popis objektu.....                                       | 27 |
| 4.2   | Výpočet tepelných ztrát objektu .....                    | 27 |
| 4.2.1 | Celková návrhová tepelná ztráta .....                    | 28 |
| 4.2.2 | Tepelná ztráta prostupem .....                           | 28 |
| 4.2.3 | Tepelná ztráta větráním .....                            | 29 |
| 4.2.4 | Celková tepelná ztráta objektu: .....                    | 30 |
| 4.2.5 | Celková roční potřeba energie na vytápění .....          | 30 |
| 4.3   | Ohřev TUV .....                                          | 31 |
| 4.4   | Celková roční potřeba tepla na vytápění a ohřev TUV..... | 32 |
| 5     | Výběr TČ .....                                           | 33 |
| 5.1   | TČ NIBE F2040-8 .....                                    | 33 |
| 5.2   | Akumulační nádrž .....                                   | 34 |

|       |                                                 |    |
|-------|-------------------------------------------------|----|
| 5.3   | Stávající plynový kotel.....                    | 34 |
| 6     | Ekonomické zhodnocení.....                      | 35 |
| 6.1   | Náklady na pořízení TČ .....                    | 35 |
| 6.2   | Náklady na pořízení plynového kotle.....        | 35 |
| 6.3   | Náklady na vytápění TČ.....                     | 36 |
| 6.3.1 | Cena elektřiny.....                             | 36 |
| 6.4   | Náklady na vytápění TČ za rok.....              | 36 |
| 6.5   | Náklady na vytápění plynovým kotlem za rok..... | 36 |
| 6.5.1 | Cena plynu.....                                 | 36 |
| 6.6   | Náklady na vytápění za rok plynovým kotlem..... | 36 |
| 6.7   | Roční úspora.....                               | 36 |
| 6.8   | Návratnost .....                                | 37 |
| 7     | ZÁVĚR .....                                     | 38 |
| 8     | SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....                   | 39 |
| 9     | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....        | 41 |
| 10    | SEZNAM OBRÁZKŮ.....                             | 43 |
| 11    | SEZNAM TABULEK.....                             | 44 |

## **1 ÚVOD**

Pohodlí a příjemné prostředí je základem pro domov každého člověka. Součástí toho je i tepelný komfort za co nejlepší cenu. V ekonomice domácností se začalo promítat zvyšování cen energií a žhavým tématem se staly alternativní způsoby vytápění. Jednou z možností je tepelné čerpadlo (TČ) spojované jak s vytápěním, tak i s ohřevem teplé užitkové vody (TUV). I přes stále poměrně vysokou pořizovací hodnotu je to zajímavá možnost, zejména pro nízkoenergetické domy. Výrobci slibují výrazné snížení nákladů za energii, a to asi o dvě třetiny.

Podle druhého zákona termodynamiky může teplo samovolně přestupovat pouze z teplejší látky do chladnější. To ovšem platí jak při 20 °C, tak i při -5 °C. Pro laika může být hůře pochopitelné, jak lze odebrat teplo ze studeného zdroje. Je to možné bez porušení jakéhokoli fyzikálního zákona. V první části práce budou objasněny tyto nejasnosti ohledně TČ, stručně bude popsán princip a funkce základních částí. Dále bude zpracován přehled používaných typů podle zdroje tepla včetně jejich popisu. Budou také uvedeny výhody a nevýhody jednotlivých typů a možnost využití, což může pomoci při výběru TČ a jeho následnou aplikaci, i když zorientovat se v široké nabídce různých firem není jednoduché. Ukazatelem může být například evropská značka kvality „Q“, která zaručuje nejen kvalitu výrobku, ale i další služby jako je instalace či servis. Tuto značku může udělit jen certifikovaná zkušebna. Hlavním cílem práce pak je vybrat vhodný typ TČ pro konkrétní objekt, provést technicko-ekonomické zhodnocení dané instalace a určit, zda je tato aplikace výhodná či nikoliv.

Změna klimatu a environmentální problematika je v dnešní době ožehavým tématem. Každé snížení emisního dopadu na naši planetu se počítá a je to krok správným směrem. Proto jsou zařízení jako tepelná čerpadla vhodným způsobem v oblasti vytápění a postupem času snad budou mít v této oblasti ještě větší zastoupení.

## 2 Tepelné čerpadlo

V dnešní době se z pohledu energetiky klade velký důraz na životní prostředí, a tudíž i na využití obnovitelných zdrojů energie. Do popředí se dostává myšlenka využívat zařízení, která významným způsobem neovlivňují ekologii okolního prostředí a zároveň se dají co nejefektivněji a nejekonomičtěji využít pro získání energie. Tepelné čerpadlo (dále jen TČ) můžeme zařadit mezi taková zařízení.

Dnes se téměř výhradně používají kompresorová TČ, proto se tato práce bude zabývat výhradně tímto typem. Existují ale i jiné typy, jakou jsou například sorpční TČ.

### 2.1 Historie TČ

Prvním, kdo popsal princip tepelného čerpadla, byl Angličan lord William Thomson Kelvin a to již roku 1852. K jeho realizaci však došlo mnohem později. Při experimentech s hlubokým mražením se americký vynálezce Robert C. Webber omylem dotkl horkých výstupních trubek chladicího systému a pokusil se mechanismus mražení obrátit. Ke konci 40. let 19. století tak sestrojil první funkční prototyp TČ, když připojil výstupní potrubí z mrazničky k ohřívači teplé vody a malým ventilátorem vháněl teplý vzduch do budovy. Především z ekonomických důvodů se však širšího využití v té době zařízení nedočkalo. [1]

K výraznějšímu nárůstu instalací TČ ve světě došlo až na začátku 80. let minulého století, kdy jako důsledek ropné krize došlo ke zvýšení cen za energie a lidé hledali náhradu za tehdy rozšířená fosilní paliva. Potom ovšem následoval strmý propad v počtu instalací, který byl způsoben častými poruchami a nedostatečnou informovaností prodejců a firem zajišťujících instalace či servis a TČ se znovu dostali do pozadí. [2]

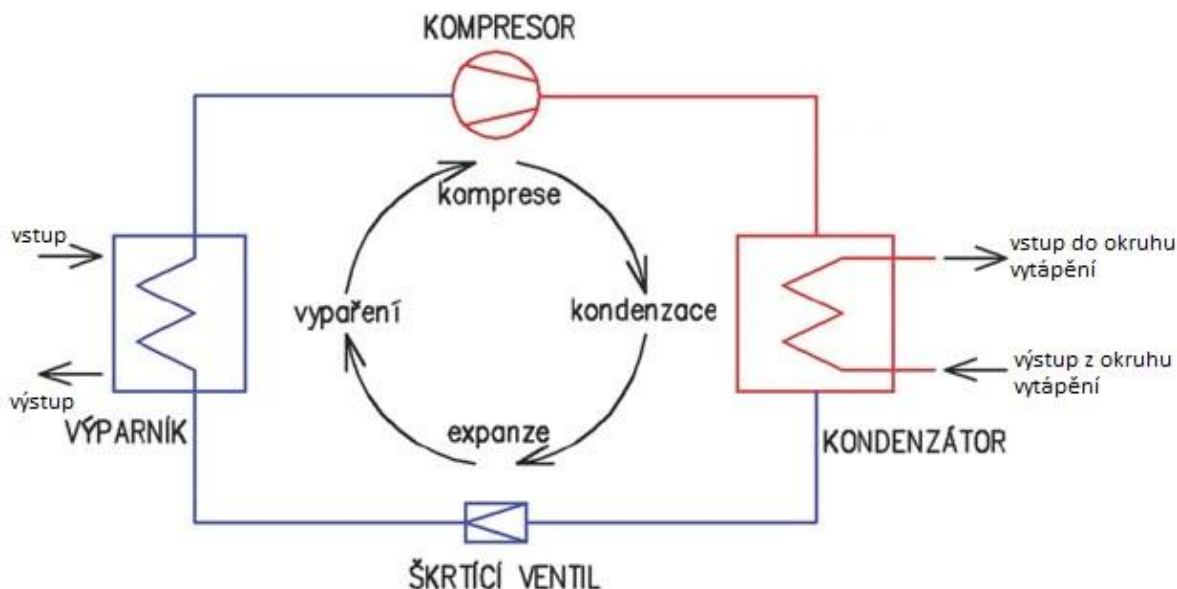
Oproti zemím, které jsou aktivnější v oblasti snižování energetické náročnosti a ochrany životního prostředí už řadu let, má Česká republika velké zpoždění. Zde se instalace tepelných čerpadel začala objevovat na počátku 90. let, ovšem především za účelem propagace. V této době byla instalace vysokou investicí a z důvodu nízkých cen energií pro domácnost se ve většině případů nevyplatila. Došlo i na případy, kdy byla návratnost investice dokonce delší než životnost tepelného čerpadla. Tato ekonomicky nevýhodná situace se začala měnit až po roce 2000, kdy se stále rostoucími cenami energií klesala návratnost investice a začal tedy skutečný rozvoj TČ. Podle statistických údajů Asociace pro využití tepelných čerpadel prodej za poslední desetiletí výrazně vzrostl. [3]

Tabulka 2.1 Vývoj počtu instalací TČ v ČR za rok 2010 až 2016 [4]

| Typ TČ         | 2010        | 2011        | 2012        | 2013        | 2014        | 2015        | 2016         | 2016 vs 2015 |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| země/voda      | 2224        | 2234        | 2332        | 2397        | 1578        | 1586        | 1521         | -4,1%        |
| vzduch/voda    | 4157        | 4212        | 4212        | 4623        | 6177        | 7193        | 10827        | 50,5%        |
| odpadní vzduch | 0           | 0           | 118         | 508         | 49          | 11          | 35           | 218,2%       |
| <b>celkem</b>  | <b>6381</b> | <b>6446</b> | <b>6662</b> | <b>7528</b> | <b>7804</b> | <b>8790</b> | <b>12383</b> | <b>40,9%</b> |

## 2.2 Princip

Na úvod je třeba zmínit, že tepelné čerpadlo energii nevyrábí, ale pouze ji vhodně přečerpává, z toho vyplývá i název tepelné čerpadlo. Musíme samozřejmě dodávat určité množství energie motoru kompresoru, nejčastěji elektrické, aby k přečerpání mohlo dojít. Je to zařízení, které dokáže převádět nízkopotenciální energii prostředí (podle druhu TČ to může být ze země, z vody, ze vzduchu) na energii pro člověka užitečnou.



Obr. 2.1 Obecné schéma principu tepelného čerpadla (upraveno) [5]

Oběh TČ můžeme rozdělit na dva okruhy. Primární, který získává energii okolního prostředí a pomocí fyzikálních procesů ohřívá přenosové médium tzv. chladivo (tomu je věnována další kapitola) a sekundární, který předává získanou energii do otopného systému. Toto je velmi zjednodušený princip, přesnější popis je uveden níže.

TČ se skládá z několika základních komponentů – výparník, kompresor, kondenzátor a expanzní (škrtkový) ventil. Na začátku je chladivo vstřikováno do výparníku, což je tepelný výměník, který přebírá nízkopotenciální teplo z okolí. Teplota teplosnosného média je vyšší, než teplota přivedeného chladiva a díky nižšímu tlaku než je před expanzním ventilem, se médium rychle odpařuje. Výměník se tak ochladí na nižší teplotu, než je teplota prostředí, odkud je teplo odebíráno. Platí zde druhý zákon termodynamiky, který říká, že teplo může samovolně přecházet pouze z teplejší látky do studenější. To znamená, že plynnému a stále studenému chladivu zůstane získaná energie a chladivo je dále nasáváno kompresorem. To je část TČ, která pro svoji činnost potřebuje vnější zdroj. Nejčastěji se jako tento zdroj používá elektromotor. Kompresor stlačí chladivo a tím zvýší jeho energii, což se projeví prudkým nárůstem teploty plynu. K energii plynu se přidá ztrátové teplo z elektromotoru a plyn je vháněn do druhého tepelného výměníku, kterým je výparník. Ten má za úkol předat získané teplo do oběhu sekundárního okruhu. Zde má stlačené chladivo vyšší teplotu než je teplota v sekundárním okruhu (např. topné vody). Opět platí druhý zákon termodynamiky. To se projeví kondenzací plynu a snížením teploty chladiva, které má stále ještě vysoký tlak. Proto je za kondenzátorem umístěn expanzní ventil, který vstřikuje chladivo zpět do výparníku, kde dojde ke snížení tlaku na původní hodnotu. Celý cyklus se spojitě opakuje. [6]

### 2.3 Chladiwa

Chladivo je pracovní látka, která cirkuluje v okruhu TČ a má za úkol přenášet energii získanou z prostředí. Tu získá ve výparníku za nízkého tlaku a teploty, kde se mění jeho skupenství z kapalného na plynné. Kompresorem je vháněno do kondenzátoru za vysokého tlaku a teploty. Zde předá teplo topnému systému a znovu zkapalní. Expanzním ventilem je vháněno zpět do výparníku.

Dříve se používala chladiwa na bázi halogenových uhlovodíků (CFC) nebo na bázi částečně halogenových uhlovodíků (HCFC). Časem se však zjistilo, že tyto halogenové či částečně halogenové uhlovodíky mají špatný vliv na ozónovou vrstvu Země, a proto se dnes už používat nesmí. Nahradila je fluorovaná chladiwa (HFC) a také zcela nehálogenovaná chladiwa, jako například amoniak nebo propan, které ozónové vrstvě neškodí. Rozvíjí se také TČ, která využívají jako chladivo oxid uhličitý CO<sub>2</sub>. [7]

### 2.4 Kompresory

Kompresory jsou nejdražším komponentem TČ. Nejčastěji bývají hermeticky uzavřeny v ocelové nádobě, ale mohou být i polouzavřené a otevřené. TČ využívá převážně čtyři základní typy kompresorů.

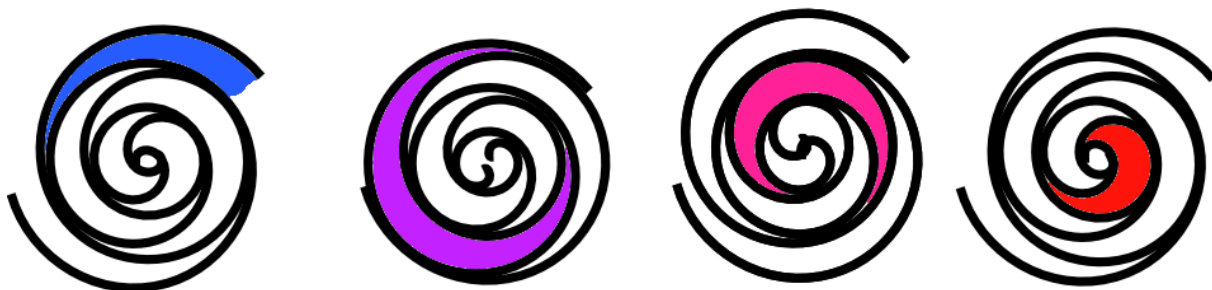
#### 2.4.1 TČ s pístovým kompresorem

Velká část starších zařízení využívá pístový kompresor. Tento typ TČ je hlučnější a nedosahuje příliš vysokých topných faktorů. Pořizovací cena je sice nižší, ale životnost kompresoru udávaná výrobcí je okolo 15 let. Je tedy nutné počítat s jednou výměnou strojní části TČ, nebo alespoň s jednou výměnou kompresoru.

#### 2.4.2 TČ se spirálovým kompresorem (SCROLL)

Tepelné čerpadlo se SCROLL kompresorem je v současné době nepoužívanější variantou. Tato TČ jsou sice dražší než předchozí typ s pístovým kompresorem, ale dosahují dobrých topných faktorů a životnost kompresoru se udává okolo 20 let. [8]

SCROLL je tvořen jednou pevnou a jednou excentricky rotující spirálou. Oproti pístovému kompresoru má tedy méně pohyblivých částí a tím pádem nižší riziko poškození. Vzduch je nasáván z vnějšího obvodu a směrem do středu je stlačován (obr. 2.2). Tím se zvýší teplota i tlak. Tento princip byl vyvinut už na počátku 20. století, ale jeho využití přibrzdila tehdy obtížná technologie výroby spirály. [9]



Obr. 2.2 Princip SCROLL kompresoru [10]

#### 2.4.3 TČ s rotačním kompresorem

Častěji se využívají u klimatizačních zařízení a u TČ se s nimi lze setkat spíše výjimečně. Jsou vhodné pro malé výkony a nedosahují příliš vysokých topných faktorů.

#### 2.4.4 TČ se šroubovým kompresorem

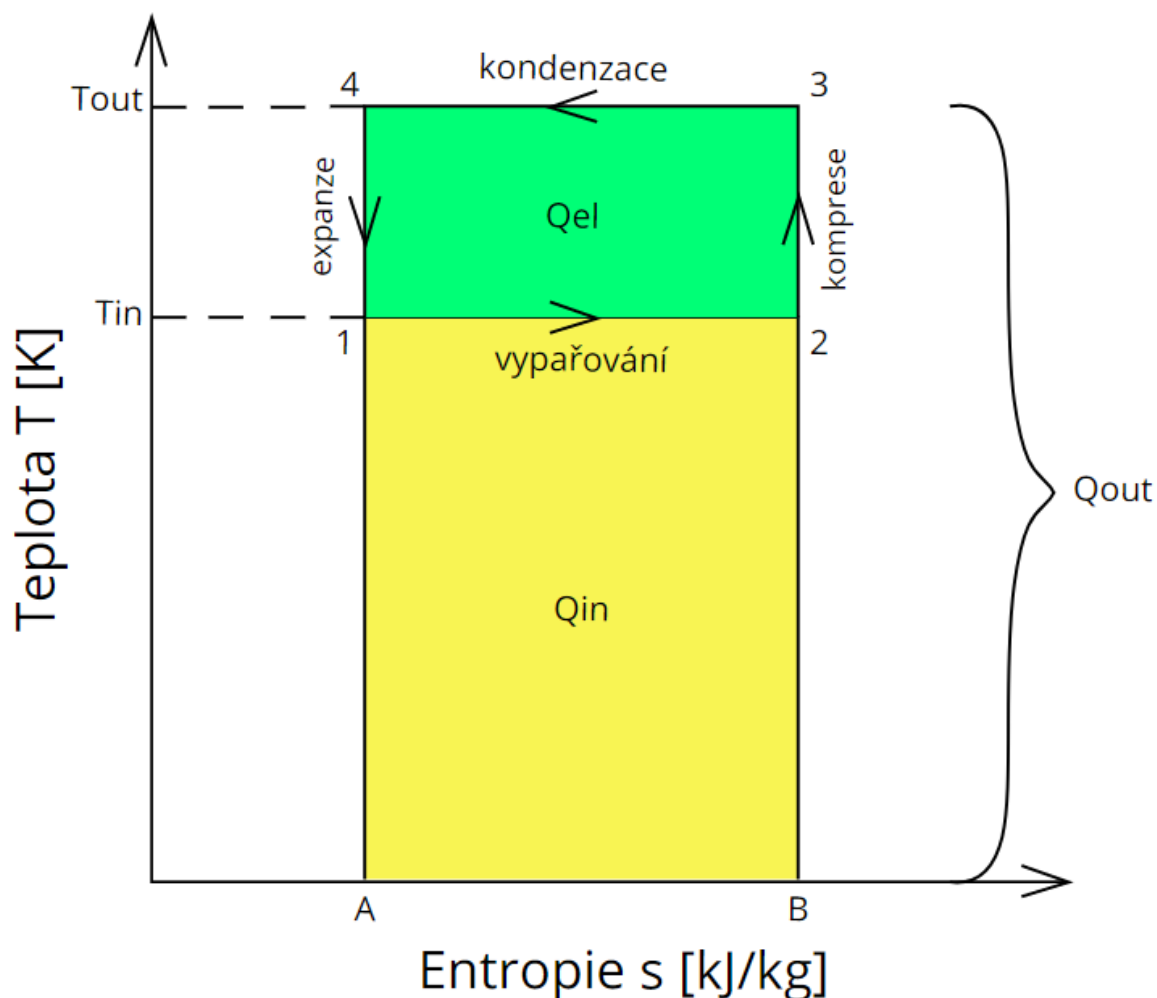
Tento typ dosahuje poměrně vysokých výkonů. To je ale vyváženo vysokou cenou. Využívá se ve velkých objektech, jako jsou například průmyslové haly. [8]

#### 2.5 Topný faktor

Topný faktor COP (z anglického Coefficient of Performance) je jednou z hlavních charakteristik TČ, definovaný jako poměr celkového získaného výkonu a dodaného energetickému příkonu pohonu kompresoru – rovnice (2.1). Je to bezrozměrná veličina. Čím vyšší je hodnota COP, tím ekonomičtější a lepší je tepelné čerpadlo.

$$COP = \frac{\text{získaný výkon}}{\text{energetický příkon}} \quad [-] \quad (2.1)$$

Zjednodušeně můžeme COP vysvětlit na obráceném oběhu Carnotova cyklu, kterým lze vyjádřit teoretický oběh TČ. Reálný oběh však vypadá jinak (Rankin – Clausiův cyklus).



Obr. 2.3 Znáznornění teoretického pracovního cyklu TČ v T-s diagramu (upraveno) [6]

Platí tedy:

$$COP = \frac{Q_{out}}{Q_{el}} = \frac{Q_{in} + Q_{el}}{Q_{el}} = \frac{T_{out}}{T_{out} - T_{in}} \quad [-] \quad (2.2)$$

$Q_{in}$  – energie získaná z okolí [J]

$Q_{el}$  – energie pro pohon kompresoru [J]

$Q_{out}$  – celková získaná energie [J]

$T_{in}$  – teplota zdroje tepla [K]

$T_{out}$  – teplota na výstupu [K]

Z rovnice (2.2) je zřejmé, že se pro dosažení co nejpříznivějšího COP musí odevzdávat teplo do topného systému s co nejnižší teplotou a zároveň získávat teplo ze zdroje s co nejvyšší teplotou. To splňuje například podlahové vytápění, kterému stačí nižší provozní teplota než radiátoru.

Hodnota COP je ovšem zavádějící. Určuje se pro určité laboratorní podmínky, které se sice blíží skutečnosti, ale nejsou zcela stejné. Přesnější charakteristiku dostaneme pomocí sezónního topného faktoru (SCOP), který je stanoven dlouhodobým měřením na skutečném TČ. Tato hodnota je menší než hodnota COP a obvykle se pohybuje v rozmezí 2 až 5. [6]

## 2.6 Značka kvality „Q“

Jednou z mála ukazatelů o kvalitě TČ je evropská značka kvality „Q“. Ta je pod záštitou Evropské asociace tepelných čerpadel EHPA, která v současné době sdružuje 21 zemí. Česká asociace pro využití tepelných čerpadel AVTČ vytvořila národní komisi, která tuto značku může udělovat.

Pro získání značky kvality „Q“ je nutné splnit několik požadavků. Spotřebiteli to pak poskytuje jistotu, že parametry na štítku TČ jsou ověřeny v certifikované laboratoři, ale i to, že má distributor zajištěnou dostatečnou technickou a servisní podporu. [11]



Obr. 2.4 Značka kvality „Q“ [11]

### 3 Druhy TČ podle zdroje tepla

Nízkopotenciální teplo může TČ získávat z několika základních zdrojů. Je to vzduch, země a voda. Podle toho, odkud je čerpána energie, můžeme TČ rozdělit na tři druhy.

#### 3.1 Vzduch – voda

Venkovní vzduch je z ekologického hlediska výborný zdroj pro TČ, protože energie odebraná z okolního prostředí se vrátí ve formě tepelných ztrát vytápěného objektu. Navíc představuje téměř neomezený zdroj a není výrazně závislý na velikosti pozemku. S klesající venkovní teplotou ovšem klesá výkon i topný faktor, přičemž tepelné ztráty objektu rostou.

Vzhledem k tepelným vlastnostem vzduchu musí výparníkem procházet velký objem vzduchu. To zajišťuje jeden nebo více ventilátorů podle požadavků na výkon TČ. Je nutné počítat i s hlučností ventilátoru. Jejich elektrický příkon není zanedbatelný a musí se tedy vzít v úvahu při návrhu a výpočtu návratnosti. TČ pro vytápění využívající vzduch se jako monovalentní zdroj vyskytuje jen ojediněle. Mnohem častěji je dimenzováno jen na 60-70 % tepelných ztrát objektu s tím, že další spotřebu energie při nízkých teplotách pokryje jiný zdroj tepla. Bivalentním zdrojem může být například elektrokotel nebo plynový kotel. [6],[7]



Obr. 3.1 TČ vzduch-voda [12]

#### Výhody:

- nízké pořizovací náklady
- velmi ekologický
- jednoduchá instalace
- možnost využití i pro chlazení

#### Nevýhody:

- s klesající teplotou klesá výkon TČ
- většinou nutný bivalentní provoz
- hlučnější v porovnání s jinými typy
- vyšší spotřeba elektřiny oproti typu země-voda

### Shrnutí:

TČ vzduch – voda je výhodné řešení, pokud je kladen důraz na nízkou pořizovací cenu a rychlou instalaci. Je ovšem nutné vhodné umístění ventilátoru z akustických důvodů. Také ochlazený vzduch by měl být vyfukován do prostoru, kde nebude způsobovat problémy. Tento typ samozřejmě může být instalován jako monovalentní zdroj, ale při vysokých teplotách v letních měsících je pak značně předimenzovaný. Nejčastěji se používá s dalším zdrojem, který při nízkých venkovních teplotách převezme buď část, nebo celý výkon.

### **3.2 Země – voda**

Pro TČ je významným zdrojem energie zemská kůra. Ta má v podstatě neomezenou tepelnou kapacitu. Další výhodou je dobrá teplotní úroveň, malé výkyvy teplot a velmi dobrá dostupnost. Tento typ se dá instalovat téměř ve všech lokalitách. Investora však mohou odradit vysoké pořizovací náklady, dané náročnější realizací výparníku a tím způsobenou delší návratností. Tu však významně ovlivňují vlastnosti půdy, které jsou různé v závislosti na druhu půdy. Výrazným ukazatelem je například tepelná vodivost, která se uvádí od  $0,25 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  pro suché půdy a až  $2,5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  pro vlhké půdy, což je poměrně velký rozdíl.

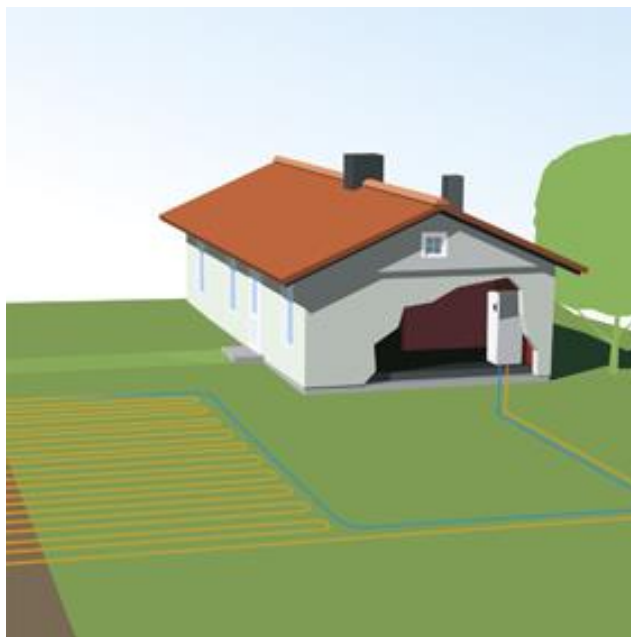
Problémem může být i zamrzání půdy v okolí tepelného výměníku, které sice způsobí nárůst hodnoty tepelné vodivosti, ale současně mezi půdou a výměníkem vznikne vzduchová mezera, jako důsledek objemových změn. Tím se zhoršují podmínky pro přestup tepla a ve výsledku to má negativní vliv na chod TČ. Je možné tomu zamezit umístěním výměníku do gelového materiálu s vysokým obsahem vody (např. roztok bentonitu) nebo použitím pružné trubky pro výměník. [7]

Teplo ze země lze získat dvěma způsoby technického řešení. Buď plošnými kolektory, nebo hlubinnými vrty.

#### **3.2.1 Plošný kolektor**

Je všeobecně známo, že teplota půdy neklesne pod bod mrazu v hloubce 0,8 m až 1 m (tzv. zámrazná hloubka). Toho využívá TČ s plošnými kolektory. Pro odběr tepla se využívají plastové trubky, kterými proudí nemrznoucí směs. Jsou uloženy horizontálně podle typu půdy v hloubce 0,5 m až 3 m. U kamenité půdy se trubky chrání písečným obsypem. Doporučená vzdálenost mezi jednotlivými trubkami je 0,3 m až 1,5 m, aby se vzájemně tepelně neovlivňovaly. Z praktického hlediska je třeba zamezit vzniku spojů na trubkách pod zemí. V případě zapojení smyček do rozdělovacích a sběrných komor musí být možnost odpojení dané smyčky, nastane-li porucha. Rozdělovací a sběrné komory je nutné vhodně umístit do šachet tak, aby byly snadno přístupné.

Tento typ TČ má nižší pořizovací náklady oproti hlubinnému vrtu. Pro jeho realizaci je však nutný dostatečně velký pozemek. Plocha plošného konektoru nesmí být zastavěna, protože teplota vrchní části půdy je ovlivněna i solární energií. [7]



Obr. 3.2 TČ země-voda varianta plošný kolektor [12]

**Výhody:**

- nižší náklady v porovnání s vrtu
- vyšší topný faktor v porovnání s variantou vzduch-voda
- u novostaveb je možné spojit výkopové práce s ostatními pracemi
- malé nároky na údržbu

**Nevýhody:**

- nutnost dostatečně velkého pozemku
- není možné nad kolektory stavět či sázet rostliny s velkými kořeny

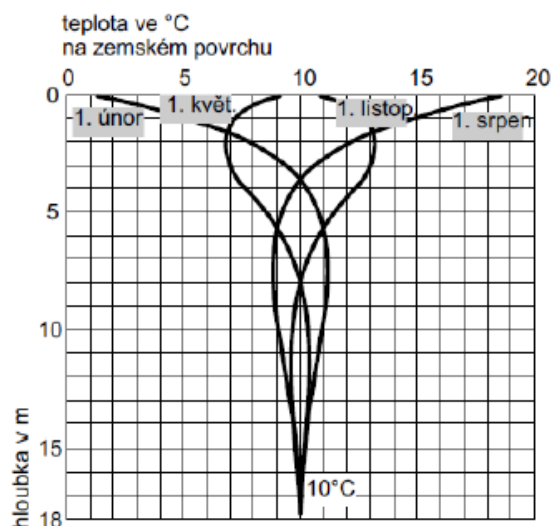
Shrnutí:

Pro novostavby s dostatečně velkým pozemkem jsou kolektory výborným řešením, především pokud se zahrada zaváže zeminou. Dá se tak ušetřit na výkopových pracích.

**3.2.2 Vrt**

V tomto případě se jedná o plastový výměník, který je vložený do vertikálního vrtu s poměrně malým průměrem (cca 150 mm). Mezera mezi hadicí výměníku a stěnou vrtu musí být vyplněna vhodnou jílovou nebo cementovou směsí, která umožní dobrý přestup tepla. Vrtu obvykle mívají hloubku 50 m až 120 m. To záleží na konkrétní lokalitě a složení půdy. Pro přesné určení hloubky vrtu by tedy měl být zpracován odborný geologický posudek.

Teplota v hloubce větší než 1 m je v našich podmínkách téměř stabilní během celého roku a pohybuje se okolo 8–12 °C (viz obr. 3.3). S rostoucí hloubkou roste i teplota. Proto byl zaveden tzv. geotermický stupeň. Ten definuje hloubku v metrech, při které teplota vzroste o 1 °C. Na území ČR je průměrný geotermický stupeň 33 m. To znamená, že zhruba každých 100 m vzroste teplota zemské kůry o 3 °C. Při požadavku na vyšší výkon je pak možné zhotovit buď více menších vrtů, nebo jeden hlubší. Hlubší vrt je technologicky výhodnější, ale je nutné vzít v úvahu i celkovou ekonomičnost návrhu. Klade se tedy velký důraz na správné dimenzování hloubky vrtu. [6],[13]



Obr. 3.3 Průběh teploty v neporušené zemi v závislosti na hloubce a ročním období [14]

**Výhody:**

- malé nároky na prostor
- celoročně stabilní a poměrně vysoký topný faktor
- malé nároky na údržbu
- realizovatelné téměř kdekoli

**Nevýhody:**

- vysoké pořizovací náklady
- nutná příslušná povolení

Shrnutí:

Vrt neboli hlubinná sonda může být při správném návrhu vhodná varianta pro úplné pokrytí tepelných ztrát objektu. To znamená, že tedy není nutný žádný bivalentní zdroj. Lze ho samozřejmě využít také na částečné pokrytí tepelných ztrát společně s bivalentním zdrojem.



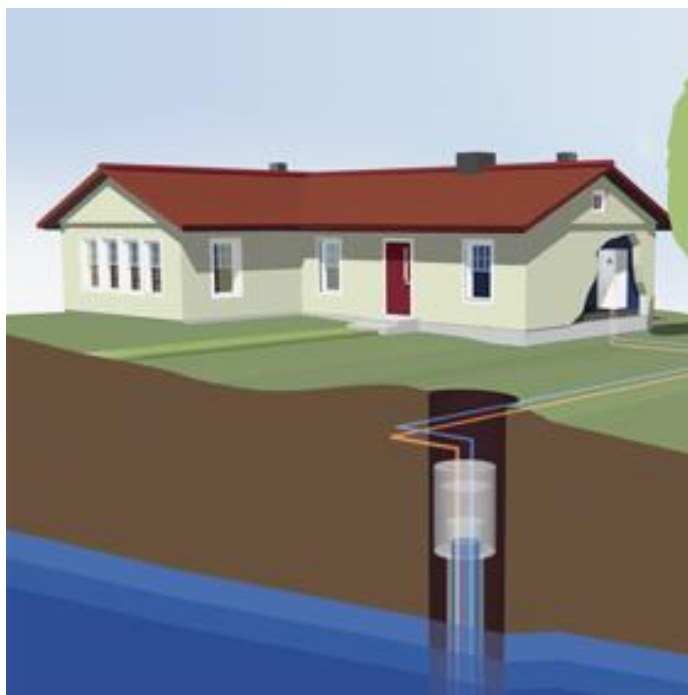
Obr. 3.4 TČ země-voda varianta vrt [12]

### 3.3 Voda – voda

Tento způsob TČ se obecně hodnotí jako jeden z nejlepších zdrojů pro čerpání tepla, protože dosahuje nejvyšších topných faktorů. Může brát energii jak z povrchové vodní plochy (rybník, jezero, vodoteč), tak z vody podzemní (studna). Existují tedy dvě varianty, které lze použít.

#### 3.3.1 Varianta studna

Zdrojem tepla je podzemní voda. Ta je čerpána ze zdrojové studny, následně se z ní odebere teplo a po ochlazení je vrácena do země pomocí tzv. vsakovací studny. Podzemní voda je velmi výhodná, protože v hloubce větší než 10 m má poměrně stálou celoroční teplotu 8-10 °C, v některých oblastech může být i vyšší. Dosahuje tedy nejvyšších topných faktorů. Tato varianta však vyžaduje dostatečnou zásobu podzemní vody a vhodné chemické složení vody. Pokud by voda obsahovala velké množství minerálů, mohlo by dojít k zanesení výměníku TČ a je tedy nutný chemický rozbor. Pro čerpání a vypouštění podzemních vod je nutné získat povolení. [8]



Obr. 3.5 TČ voda-voda varianta studna [12]

#### Výhody:

- vysoký a celoročně stálý topný faktor
- možnost využití stávající studny
- nižší náklady v porovnání s vrty

#### Nevýhody:

- pouze lokality s dostatkem spodní vody
- požadavky na chemické složení
- administrativní náročnost

#### Shrnutí:

Studna je pro TČ jedním z nejlepších zdrojů tepla. V praxi se však vhodný zdroj v blízkosti vytápěného objektu vyskytne jen zřídka. Nutné je také ověřit vydatnost vrtu dlouhodobou čerpací zkouškou.

### 3.3.2 Varianta vodní plocha

Tato varianta může čerpat teplo jak z vod stojatých, tak z povrchových toků. U stojatých vod však může v zimních měsících docházet k zamrzání, proto je výhodnější využít trvalý vodní tok. Ideální je například náhon malé vodní elektrárny. Na dně je uložen systém výměníků, který je napuštěn nemrznoucí směsí nebo je možné čerpat vodu potrubím přímo k tepelnému čerpadlu a ochlazenou ji vracet zpět. Problémem zde může být znečištění vody, které může způsobit zanášení potrubí a výměníku a následně poškození TČ. Proto je nutné udělat rozbor vody. V blízkosti vodoteče nebo rybníka se ovšem nachází jen málo domů a při větší vzdálenosti zdroje se potrubí nevyplatí. Využití tohoto typu je tedy spíše výjimečné. [8]



Obr. 3.6 TČ voda-voda varianta vodní plocha [12]

#### Výhody:

- tichý chod
- nižší náklady v porovnání s vrty

#### Nevýhody:

- málo vhodných lokalit
- riziko zamrzání
- u přímého odběru vody je nutné povolení správce a chemický rozbor

#### Shrnutí:

Tento typ může být v určitých oblastech při vhodné konstrukci a při správném návrhu dobrou alternativou. Ale není nejlepší variantou, a to především kvůli výše zmíněným nevýhodám.

## 4 Tepelné ztráty objektu

### 4.1 Popis objektu

Objektem je nepodsklepený rodinný dům (dále jen RD) na okraji města Hrotovice. Jedná se o bungalov o vnější zastavěné ploše 166,8 m<sup>2</sup>. RD stojí samostatně a žádná venkovní stěna není spojena se sousedním domem. Garáž je postavena zvlášť. Objekt je novostavba z roku 2017 a žije v něm 5 osob.



Obr. 4.1 Obrázek domu

### 4.2 Výpočet tepelných ztrát objektu

Pro výpočet bude použita zjednodušená výpočtová metoda podle normy ČSN EN 12831 06 0206 z roku 2005 s uvažováním reálné vnitřní teploty v místnostech.

Výpočtové parametry:

Vnitřní výpočtová teplota:

$$t_{in} = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Venkovní výpočtová teplota:<sup>1</sup>

$$t_{ex} = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Průměrná venkovní teplota za otopné období:<sup>2</sup>

$$t_p = 4,1\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Počet dní otopné sezóny:<sup>3</sup>

$$d = 233$$

<sup>1</sup> Hodnota byla převzata ze stránek tzb-info.cz pro Třebíč. Čerpáno z [15].

<sup>2</sup> Hodnota byla převzata ze stránek tzb-info.cz pro Třebíč. Čerpáno z [15].

<sup>3</sup> Průměr za roky 2014 – 2017 ze stanice Dukovany. Čerpáno z [16]

#### 4.2.1 Celková návrhová tepelná ztráta

Celková tepelná ztráta objektu  $Q_{CZ}$  se vypočte z rovnice:

$$Q_{CZ} = (Q_T + Q_V) \cdot f_{\Delta t} \quad [W] \quad (4.1)$$

Kde:

- $Q_T$  je tepelná ztráta prostupem tepla vytápěného prostoru  $[W]$ ,  
 $Q_V$  je tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru  $[W]$ ,  
 $f_{\Delta t}$  je teplotní korekční součinitel zohledňující tepelné ztráty místnosti vytápěných na vyšší teplotu než mají sousední vytápěné místnosti  $[-]$ .

#### 4.2.2 Tepelná ztráta prostupem

Tepelná ztráta prostupem  $Q_T$  se stanoví z rovnice:

$$Q_T = \sum_k [f_k \cdot A_k \cdot U_k \cdot (t_{in} - t_{ex})] \quad [W] \quad (4.2)$$

Kde:

- $f_k$  je teplotní korekční činitel pro stavební část při uvažování rozdílu teploty uvažovaného případu a výpočtové venkovní teploty  $[-]$ ,  
 $A_k$  je plocha objektu  $[m^2]$ ,  
 $U_k$  je součinitel prostupu tepla objektu  $[W/m^2 \cdot K]$ .

Po dosazení hodnot uvedených v tabulce 4.1 jsou vypočteny tepelné ztráty prostupem pro jednotlivé plochy  $Q_{T,k}$ . Ty jsou uvedeny v posledním řádku tabulky 2.

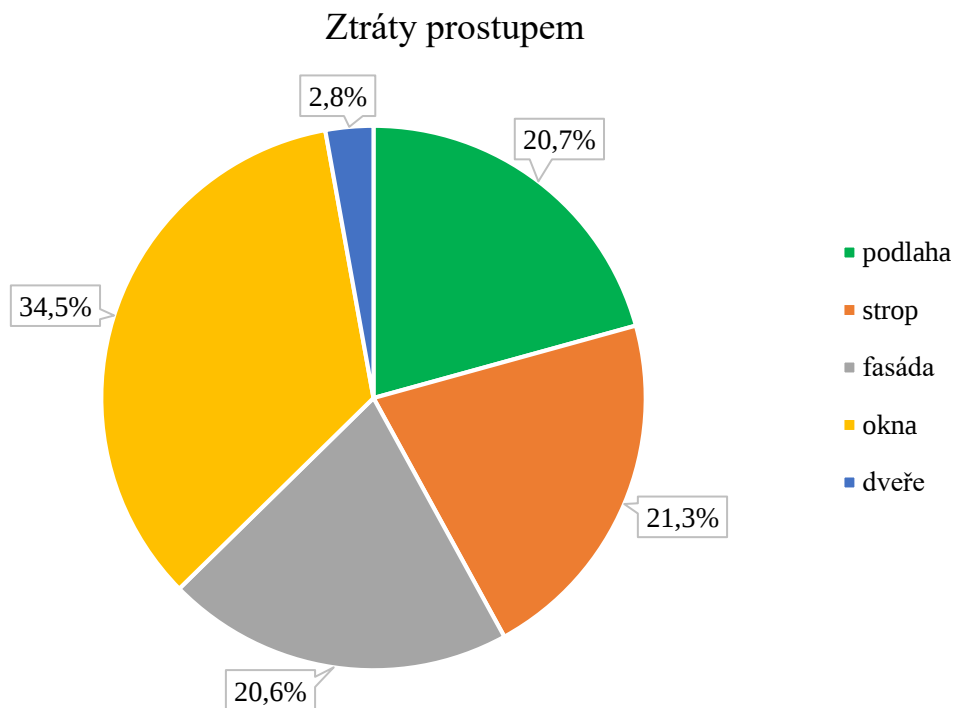
Tabulka 4.1 Tepelné ztráty prostupem pro jednotlivé plochy.

|                       | podlaha | strop | fasáda | okna  | dveře |
|-----------------------|---------|-------|--------|-------|-------|
| $A_k [m^2]$           | 166,8   | 166,8 | 124,6  | 24,32 | 2     |
| $U_k [W/m^2 \cdot K]$ | 0,35    | 0,12  | 0,14   | 1,2   | 1,2   |
| $t_{ex} [^\circ C]$   | -17     | -17   | -17    | -17   | -17   |
| $f_k [-]$             | 0,3     | 0,9   | 1      | 1     | 1     |
| $Q_{T,k} [W]$         | 700     | 721   | 698    | 1167  | 96    |

Celková tepelná ztráta prostupem je pak:

$$Q_T = \sum_k (Q_{T,k}) = 700 + 721 + 698 + 1167 + 96$$

$$Q_T = 3382 \text{ W}$$



Obr. 4.1 Procentuální vyjádření ztrát prostupem jednotlivými plochami

#### 4.2.3 Tepelná ztráta větráním

Tepelná ztráta větráním  $Q_V$  se stanoví z rovnice:

$$Q_V = 0,34 \cdot \dot{V}_{min} \cdot (t_{in} - t_{ex}) \quad [W] \quad (4.3)$$

Kde:

$\dot{V}_{min}$  je hygienicky nejmenší požadované množství vzduchu pro vytápěný prostor [ $Wm^3/h$ ].

Minimální množství vzduchu  $\dot{V}_{min}$  z hygienických důvodů se stanoví z rovnice:

$$\dot{V}_{min} = n_{min} \cdot V_i \quad [m^3] \quad (4.4)$$

Kde:

$n_{min}$  je nejmenší intenzita výměny venkovního vzduchu [ $h^{-1}$ ],  
 $V_i$  je objem vytápěného prostoru vypočtený z vnitřních rozměrů objektu [ $m^3$ ].

Výpočtové hodnoty:

$n_{min} = 0,5$   
 $V_i = 332,34 \text{ m}^2$  (vypočteno z návrhové dokumentace)  
 $t_{in} = 23 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $t_{ex} = -15 \text{ }^\circ\text{C}$

Po dosazení do rovnice (4.4) a (4.3) vyjde tepelná ztráta větráním:

$$Q_V = 0,34 \cdot (0,5 \cdot 332,34) \cdot [23 - (-15)]$$

$$Q_V = 2147 \text{ W}$$

#### 4.2.4 Celková tepelná ztráta objektu:

Celkovou tepelnou ztrátu lze určit z rovnice (4.1). Po dosazení vypočtených ztrát a teplotního korekčního součinitele  $f_{\Delta t} = 1$  vyjde:

$$Q_{CZ} = (3382 + 2147) \cdot 1$$

$$Q_{CZ} = 5529 \text{ W}$$

Výsledky výpočtu porovnané s internetovou online kalkulačkou jsou uvedeny v následujících tabulkách. Kalkulačka slouží jen k porovnání a přibližné kontrole výsledku, dále už nebude brána v potaz.

Tabulka 4.2 Tepelné ztráty podle výpočtu

| Tepelná ztráta [W] |             |
|--------------------|-------------|
| Prostupem          | 3382        |
| Větráním           | 2147        |
| <b>Celkem</b>      | <b>5529</b> |

Tabulka 4.3 Tepelné ztráty podle online kalkulačky [17]

| Tepelná ztráta [W] |             |
|--------------------|-------------|
| Prostupem          | 3191        |
| Větráním           | 1920        |
| Tepelnými mosty    | 329         |
| <b>Celkem</b>      | <b>5440</b> |

#### 4.2.5 Celková roční potřeba energie na vytápění

Pro výpočet roční potřeby energie na vytápění  $Q_{D,r}$  je využita rovnice ze zdroje [15]. Platí:

$$Q_{D,r} = \frac{\varepsilon \cdot 24 \cdot Q_{CZ} \cdot D}{\eta_o \cdot \eta_r \cdot (t_{in} - t_{ex})} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \quad [\text{kWh/rok}] \quad (4.5)$$

Kde:

- $Q_{CZ}$  je celková tepelná ztráta [W],
- $D$  je počet denostupňů [ $K \cdot \text{dny}$ ],  
 $D = d \cdot (t_{in} - t_p) = 233 \cdot (23 - 4,1) = 4403,7 \text{ K} \cdot \text{dny}$
- $d$  je počet dní otopné sezóny<sup>4</sup>  $d = 233$  dní,
- $t_{in}$  je vnitřní výpočtová teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ],
- $t_p$  je průměrná venkovní teplota za otopné období [ $^{\circ}\text{C}$ ],
- $t_{ex}$  je venkovní výpočtová teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ],
- $\varepsilon$  je opravný součinitel [–], (pro regulaci termostatem zvoleno  $\varepsilon = 0,71$ )
- $\eta_o$  je účinnost obsluhy resp. možnosti regulace soustavy [–] (zvoleno  $\eta_o = 0,98$ )
- $\eta_r$  je účinnost rozvodu vytápění [–] (zvoleno  $\eta_r = 0,98$ )

<sup>4</sup> Průměr za roky 2014 – 2017 ze stanice Dukovany. Čerpáno z [16].

Po dosazení do rovnice (4.5):

$$Q_{D,r} = \frac{0,71 \cdot 24 \cdot 5529,172 \cdot 4403,7}{0,98 \cdot 0,98 \cdot [23 - (-15)]} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_{D,r} = 57644 \text{ MJ/rok}$$

Přepočet na kWh/rok vychází z jednotek daných veličin:

$$1W = \frac{1J}{1s} \rightarrow J = Ws$$

Kde po dosazení

$$\frac{MJ}{rok} = \frac{1000 \cdot kWh}{3600 \cdot rok} = 3,6^{-1} \cdot \frac{kWh}{rok}$$

Celková roční potřeba tepla je tedy jen vydělena hodnotou 3,6 a výsledkem je:

$$Q_{D,r} = 11369 \text{ kWh/rok}$$

#### 4.3 Ohřev TUV

Pro výpočet jsou znovu využity rovnice ze zdroje [15]. Pro určení roční potřeby energie na ohřev TUV  $Q_{TUV,r}$  platí:

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{sl}}{t_2 - t_{sz}} \cdot (N - d) \quad [kWh/rok] \quad (4.6)$$

Kde:

- $Q_{TUV,d}$  je denní potřeba tepla pro ohřev TUV,
- $d$  je počet dní otopné sezóny  $d = 233$ ,
- $t_2$  je teplota ohřáté vody  $t_2 = 55^\circ C$ ,
- $t_{sl}$  je studené vody v létě  $t_{sl} = 15^\circ C$ ,
- $t_{sz}$  je studené vody v zimě  $t_{sz} = 5^\circ C$ ,
- $N$  je počet dní, kdy soustava pracuje  $N = 365$ .

Pro denní potřebu tepla k ohřevu TUV platí:

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{1d} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} \quad [kWh/den] \quad (4.7)$$

Kde:

- $z$  je koeficient energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody  $z = 0,5 [-]$ ,
- $\rho$  je hustota vody  $\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,
- $c$  je měrná tepelná kapacita vody  $c = 4186 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ,
- $V_{1d}$  je celková potřeba teplé vody za den<sup>5</sup>  $V_{1d} = 0,05 \cdot 5 = 0,25 \text{ m}^3/\text{den}$ ,
- $t_2$  je teplota ohřáté vody  $t_2 = 55^\circ C$ ,
- $t_1$  je teplota studené vody  $t_1 = 10^\circ C$ .

<sup>5</sup> Uvažováno 0,05 m<sup>3</sup>/osobu den. Spočteno pro 5 lidí.

Po dosazení do rovnice (4.7) vyjde denní potřeba:

$$Q_{TUV,d} = (1 + 0,5) \cdot \frac{1000 \cdot 4186 \cdot 0,25 \cdot (55 - 10)}{3600}$$

$$Q_{TUV,d} = 19,622 \text{ kWh/den}$$

Roční potřeba lze získat po dosazení do rovnice (4.6):

$$Q_{TUV,r} = 19,622 \cdot 233 + 0,8 \cdot 19,622 \cdot \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot (365 - 233)$$

$$Q_{TUV,r} = 6230 \text{ kWh/rok}$$

#### 4.4 Celková roční potřeba tepla na vytápění a ohřev TUV

Celková roční potřeba tepla se určí součtem roční potřeby tepla na vytápění  $Q_{D,r}$  a roční potřeby tepla na ohřev TUV  $Q_{TUV,r}$ .

$$Q_{C,r} = Q_{D,r} + Q_{TUV,r} = 11369 + 6230$$

$$Q_{C,r} = 17598 \text{ kWh/rok}$$

Tabulka 4.4 Roční potřeba elektrické energie

| Roční potřeba elektrické energie |       |         |
|----------------------------------|-------|---------|
| Vytápění                         | 11369 | kWh/rok |
| Ohřev TUV                        | 6230  |         |
| Celkem                           | 17598 |         |

## 5 Výběr TČ

### 5.1 TČ NIBE F2040-8

Pro vytápění bylo zvoleno švédské TČ vzduch – voda NIBE F2040-8 + systémová jednotka VVM 320. Součástí systémové jednotky je i akumulční nádrž o objemu 180 litrů a elektrokotel o maximálním výkonu 9 kW, který slouží jako bivalentní zdroj. To tvoří kompletní sestavu pro vytápění a ohřev TUV. Prodejce uvádí, že TČ dokáže plně pokrýt tepelnou potřebu, a to do tzv. bodu bivalence, který je  $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Podle informací ČHMÚ pro stanici Příbyslav [18] byla za otopné období 2016/2017 teplota pod  $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$  pouze 5 dní, což odpovídá 1,3 %, kdy spotřebu tepla pokrývá elektrokotel.

Při montáži je podmínkou umístění venkovní jednotky alespoň 15 cm od stěny, aby zadní stranou mohl být nasáván vzduch z prostředí. Vnitřní jednotka se pak musí vejít do technické místnosti. Výhodou vybraného TČ je možnost využít ho pro chlazení vzduchu v létě, popřípadě na ohřev vody v bazénu. Firma NIBE má pro tuto řadu tepelných čerpadel udělenou značku kvality „Q“, která by měla zajistit pravdivost uvedených údajů.

Tabulka 5.1 Rozměry TČ [19]

|               |      |
|---------------|------|
| Výška [mm]    | 900  |
| Šířka [mm]    | 1025 |
| Hloubka [mm]  | 420  |
| Hmotnost [kg] | 66   |

Tabulka 5.2 Rozměry systémové jednotky [20]

|               |      |
|---------------|------|
| Výška [mm]    | 1800 |
| Šířka [mm]    | 600  |
| Hloubka [mm]  | 615  |
| Hmotnost [kg] | 140  |



Obr. 5.1 TČ NIBE F2040-8 [19]



Obr. 5.2 Systémová jednotka NIBE VVM 320 [20]

## **5.2 Akumulační nádrž**

Akumulační nádrž slouží k uchování tepelné energie a dostatečné zásoby TUV pro zvýšení tepelného komfortu. Například je možné nahřát vodu v nádrži v době, kdy je nižší tarif za elektřinu a následně odebírat uložené teplo v době, kdy je tarif vyšší. Tím lze zvýšit úsporu při vytápění a ohřevu TUV.

## **5.3 Stávající plynový kotel**

Stávajícím zdrojem vytápění je závěsný plynový kotel VAILLANT VU 206/5-5 ecoTEC plus s možností regulace výkonu 17 – 100 %. K němu je zásobník pro přípravu TUV VIH R 120/6 B o objemu 117 litrů.



*Obr. 5.3 Kotel VAILLANT VU 206/5-5 ecoTEC plus [21]*



*Obr. 5.4 Zásobník VIH R 120/6 B [22]*

## 6 Ekonomické zhodnocení

### 6.1 Náklady na pořízení TČ

Náklady na pořízení TČ byly určeny po konzultaci se zástupcem firmy NIBE [23]:

Tabulka 6.1 Cena TČ

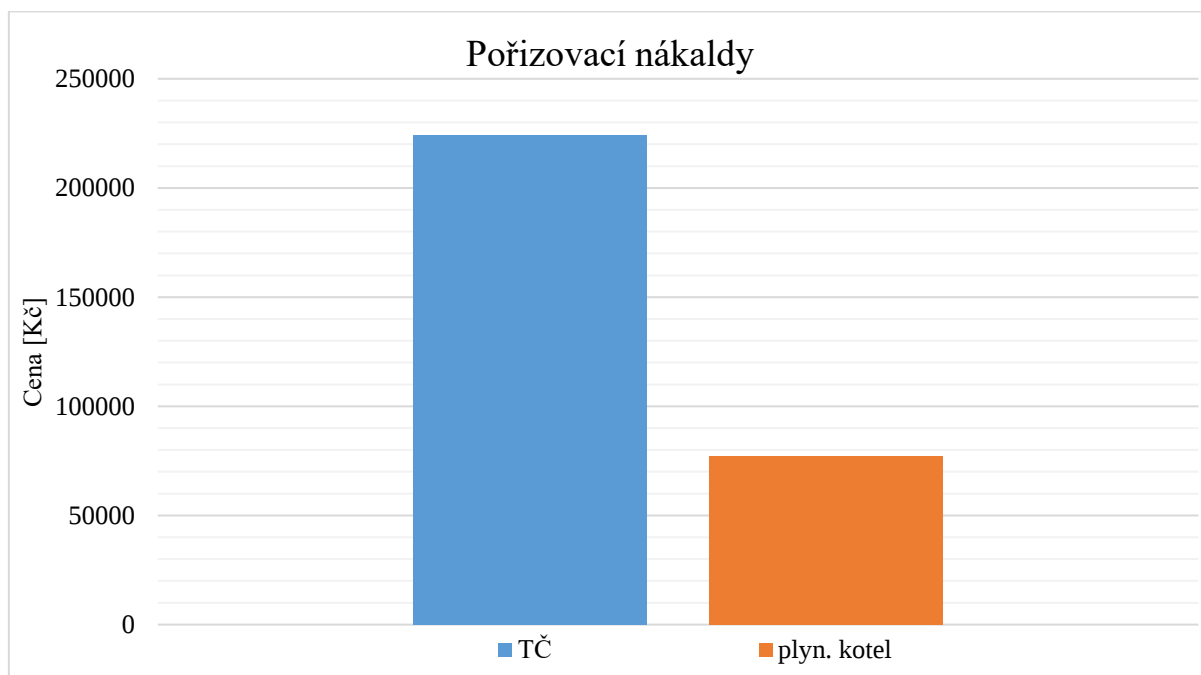
|                                                    |                                     |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------|
| TČ NIBE F2040-8                                    | 130.000 Kč                          |
| Ohřev odvodu kondenzátu NIBE KVR 10                | 4.000 Kč                            |
| Systémová jednotka NIBE VVM 320                    | 95.000 Kč                           |
| Montáž tepelného čerpadla včetně dopravy           | 10.000 Kč                           |
| Instalační materiál                                | 10.000 Kč                           |
| Schválení instalace technikem NIBE, revizní zpráva | 5.000 Kč                            |
| Sleva na komponenty NIBE v rámci akce              | -59.000 Kč                          |
| Cena bez DPH                                       | 195.000 Kč                          |
| <b>Cena vč. 15% DPH<sup>6</sup></b>                | <b>NP<sub>TČ</sub> = 224.250 Kč</b> |

### 6.2 Náklady na pořízení plynového kotle

Náklady na pořízení kotle od firmy Vaillant byly určeny ze zdroje [24]. Jedná se o kompletní sestavu pro vytápění a ohřev TUV:

Tabulka 6.2 Cena plynového kotle

|                                                                 |                                    |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Sestava kondenzačního kotle a zásobníku pro přípravu teplé vody | 59.000 Kč                          |
| Montáž včetně dopravy                                           | 5.000 Kč                           |
| Cena bez DPH                                                    | 64.000 Kč                          |
| <b>Cena vč. 21% DPH</b>                                         | <b>NP<sub>PK</sub> = 77.440 Kč</b> |



Obr. 6.1 Grafické znázornění pořizovacích cen

<sup>6</sup> Při pořízení TČ včetně instalace se vztahuje DPH 15 %

### 6.3 Náklady na vytápění TČ

#### 6.3.1 Cena elektřiny

Při pořízení TČ je možné zažádat o zvýhodněnou sazbu na elektřinu D 57d. Jedná se o dvoutarifovou sazbu s nízkým tarifem po dobu 20 hodin od společnosti E.ON. [25]

Tabulka 6.3 Sazba D 57d

|                    | Cena 1kWh v Kč | Počet hodin za den |
|--------------------|----------------|--------------------|
| Vysoký tarif       | 3,1056         | 4                  |
| Nízký tarif        | 2,5401         | 20                 |
| Poměrně přepočteno | <b>2,63435</b> | 24                 |

### 6.4 Náklady na vytápění TČ za rok

Pro výpočet nákladů byl uvažován sezónní topný faktor **SCOP = 3,25**, který uvádí výrobce. Cena za 1 kWh elektřiny **2,63435 Kč** a TČ pracuje **98,7 %** času za rok.

$$N_{T\check{c},r} = 2,63435 \cdot \frac{Q_{c,r}}{SCOP} \cdot 0,987 + 2,63435 \cdot Q_{c,r} \cdot 0,013 \quad [K\check{c}] \quad (6.1)$$

$$N_{T\check{c},r} = 2,63435 \cdot \frac{17598}{3,25} \cdot 0,987 + 2,63435 \cdot 17598 \cdot 0,013 = 14.677,87 \text{ K}\check{c}$$

### 6.5 Náklady na vytápění plynovým kotlem za rok

#### 6.5.1 Cena plynu

Cena za 1 kWh plynu od společnosti E.ON pro domácnosti je určena podle množství odebraného plynu za rok. [26]

Tabulka 6.4 Cena plynu

| Roční odběr   | Cena 1kWh v Kč |
|---------------|----------------|
| 15-25 MWh/rok | <b>1,33733</b> |

### 6.6 Náklady na vytápění za rok plynovým kotlem

Pro výpočet nákladů byla uvažována cena za 1 kWh plynu **1,33733 Kč**.

$$N_{PK,r} = 1,33733 \cdot Q_{c,r} \quad [K\check{c}] \quad (6.2)$$

$$N_{PK,r} = 1,33733 \cdot 17598 = 23.534,70 \text{ K}\check{c}$$

### 6.7 Roční úspora

Roční úspora při využití TČ je rozdíl ročních nákladů na vytápění plynovým kotlem a TČ.

$$N_{U,r} = N_{PK,r} - N_{T\check{c},r} \quad [K\check{c}] \quad (6.3)$$

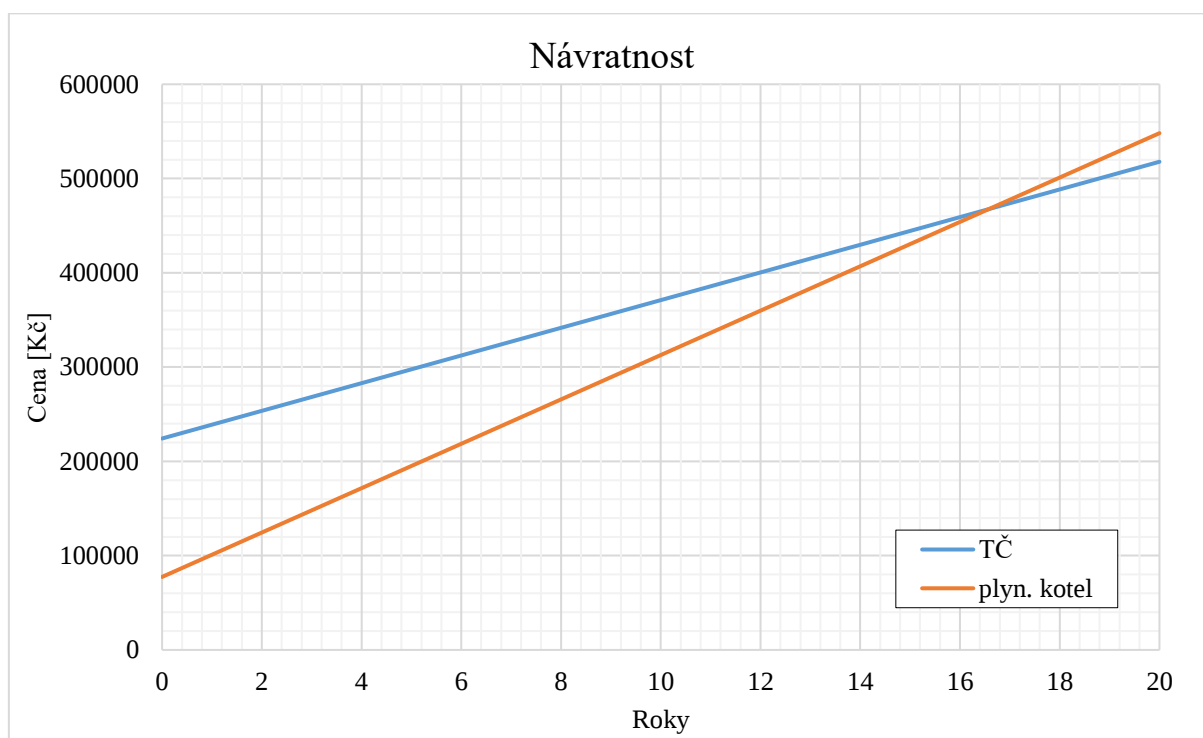
$$N_{PK,r} = 23534,70 - 14677,87 = 8.856,83 \text{ K}\check{c}$$

## 6.8 Návratnost

Návratnost se určí jako rozdíl celkových nákladů na TČ a celkových nákladů na plynový kotel podělený roční úsporou.

$$T_N = \frac{NP_{TČ} - NP_{PK}}{N_{U,r}} \quad [\text{rok}] \quad (6.4)$$

$$T_N = \frac{224.250 - 77.440}{8.856,83} = 16,6 \text{ let}$$



Obr. 6.2 Grafické znázornění návratnosti

Při porovnání TČ s bivalentním zdrojem (elektrokotel) a plynového kotle jako samostatného zdroje pro vytápění a ohřev TUV vyšla návratnost 16,6 let. To je graficky znázorněno na obr. 6.2. Ve výsledné návratnosti hraje hlavní roli stále dosti vysoká pořizovací cena TČ. Výrobce dává záruku na kompresor 10 let, ale obecně se životnost kompresoru uvádí okolo 20 let. To znamená, že zvolené TČ je návratné a může se zařadit mezi vhodné varianty pro vytápění a ohřev TUV.

## 7 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo popsat princip tepelného čerpadla, uvést používané druhy včetně jejich výhod a nevýhod, navrhnout systém vytápění s využitím tepelného čerpadla a provést technicko-ekonomické zhodnocení pro vybraný objekt.

Teoretická část práce objasňuje princip i používané druhy tepelných čerpadel tak, aby získala přehled i osoba, která se s nimi doposud nesetkala. To pak může pomoci při rozhodování, zda toto zařízení zvolit pro svůj dům a případně jaký typ je pro daný objekt nejlepší.

Při návrhu byly nejdříve vypočteny tepelné ztráty objektu a energie potřebná pro ohřev teplé užitkové vody. Podle toho bylo následně vybráno tepelné čerpadlo. Porovnána byla dvě možná řešení vytápění a ohřevu teplé užitkové vody. Stávající plynový kotel od firmy Vaillant jako samostatný zdroj a tepelné čerpadlo od firmy NIBE, jehož součástí je jako bivalentní zdroj elektrokotel. Voleno bylo z kvalitnějších značek a tomu odpovídají i vyšší pořizovací náklady, kde pořizovací cena tepelného čerpadla je asi třikrát vyšší než cena plynového kotle. Na trhu jsou i levnější zařízení s nižší pořizovací cenou, ale s tím může být spojena nižší spolehlivost a častá poruchovost zařízení. To by se pak mohlo projevit zvýšením nákladů na opravy a údržbu. Je dobré také zmínit, že zvolené tepelné čerpadlo má udělenou značku kvality „Q“, což je v současné době jedním z mála ukazatelů, který může při výběru pomoci.

Do výpočtu návratnosti zasahuje několik faktorů. Výše zmíněné pořizovací náklady porovnávaných zařízení, zvýhodněná sazba na elektřinu pro objekty vytápěné tepelným čerpadlem, ale i sezonní topný faktor SCOP, který se odvíjí od kvality tepelného čerpadla a určuje, jak moc je možné díky tepelnému čerpadlu ušetřit.

Porovnáním ročních nákladů na vytápění a ohřev teplé užitkové vody byla určena úspora při vytápění tepelným čerpadlem proti plynovému kotli 8.867 Kč. Samotná návratnost pak byla spočtena na 16,6 let. Při průměrné životnosti kompresoru uváděné okolo 20 let je toto řešení návratné a dá se o něm uvažovat jako o vhodném řešení. Je však nutné počítat s vyššími pořizovacími náklady oproti jiným zdrojům, jako je například plynový kotel.

Počet instalovaných tepelných čerpadel v České republice za posledních několik let stále roste. Do budoucna se dá také očekávat spíše nárůst cen za energie, což by návratnost těchto zařízení mohlo ještě snížit. Dnešním trendem je také stále zvyšovat nároky na ekologičnost jednotlivých zařízení. Proto má tepelné čerpadlo velký potenciál a už nyní lze říct, že je vhodnou variantou pro zajištění tepelného komfortu.

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KOUBKOVÁ, L. Vytápění rodinného domu s využitím tepelného čerpadla. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 66 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
- [2] HISTORIE TEPELNÝCH ČERPADEL. Sinclair heat pumps [online]. 2018 [cit. 2018-01-28]. Dostupné z: <http://www.sinclairheatpumps.eu/cs/informace/historie-tepelnych-cerpadel/>
- [3] Cíle asociace AVTČ [online]. 2018 [cit. 2018-01-28]. Dostupné z: <http://www.avtc.cz/?page=cile-asociace>
- [4] European Heat Pump Market and statistic: Report 2017. Brussels, 2017.
- [5] Specifikace tepelných čerpadel pro využití v TZB. Časopis stavebnictví [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/tisk.php?ID=517>
- [6] ŽERÁVÍK, Antonín. Stavíme tepelné čerpadlo. Přerov: vydáno vlastním nákladem, 2003. ISBN 80-239-0275-X.
- [7] PETRÁŠ, Dušan. Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie. Bratislava: Jaga, 2008. Vytápění. ISBN 978-808076-069-4.
- [8] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. *Tepelná čerpadla*. Brno: ERA, 2005. 21. století. ISBN 80-736-6031-8.
- [9] Kompresory pro tepelná čerpadla. TZBinfo [online]. ČTK, 2015 [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpada/13498-kompresory-pro-tepelna-cerpada>
- [10] Vapor-compression refrigeration: Operating principle of a Scroll Compressor. Wikiwand [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: [http://www.wikiwand.com/en/Vapor-compression\\_refrigeration](http://www.wikiwand.com/en/Vapor-compression_refrigeration)
- [11] ZNAČKA KVALITY Q. AVTČ [online]. 2018 [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <http://www.avtc.cz/?page=znacka-kvality-q>
- [12] Typy tepelných čerpadel. IVT Tepelná čerpadla s.r.o. [online]. 2018 [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <https://www.cerpada-ivt.cz/cz/typy-tepelnych-cerpadel>
- [13] 21. STOLETÍ: Čeká nás v hlubinách Země energetický poklad? [online]. 2007 [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <https://21stoleti.cz/2007/08/17/ceka-nas-v-hlubinach-zeme-energeticky-poklad/>
- [14] METODIKA PRO NÁVRH TEPELNÉHO ČERPADLA ZEMĚ – VODA. Asociace pro využití tepelných čerpadel [online]. 2012 [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: [http://www.avtc.cz/?download=/\\_dokum/metodika-pro-navrh-tepelneho-cerpada-zeme---voda\\_28\\_5\\_2012-pracovni-verze.pdf](http://www.avtc.cz/?download=/_dokum/metodika-pro-navrh-tepelneho-cerpada-zeme---voda_28_5_2012-pracovni-verze.pdf)
- [15] Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. TZBinfo [online]. [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [16] Výpočet denostupňů. TZBinfo [online]. [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/103-vypocet-denostupnu?stanice=9>
- [17] On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám. TZBinfo [online]. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>
- [18] Český hydrometeorologický ústav. ČHMÚ [online]. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data#>

- [19] Tepelné čerpadlo NIBE F2040. TOP HEAT [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://www.nizkenaklady.cz/tepelna-cerpadla-vzduch-voda/tepelne-cerpadlo-nibe-f2040>
- [20] Systémová jednotka NIBE VVM 320. TOP HEAT [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://www.nizkenaklady.cz/tepelna-cerpadla-vzduch-voda/systemova-jednotka-nibe-vvm-320/>
- [21] Závěsný kondenzační plynový kotel VU ecoTEC plus. Vaillant [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <https://www.vaillant.cz/pro-zakazniky/produkty/zavesny-kondenzacni-plynovy-kotel-vu-ecotec-plus-9472.html#layer-2>
- [22] Nepřímotopný zásobníkový ohřívač VIH uniSTOR R 120/6 B. Vaillant [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <https://www.vaillant.cz/pro-zakazniky/produkty/neprimotopny-zasobnikovy-ohrivac-vih-unistor-r-120-6-b-200-6-b-8704.html#layer-0>
- [23] Ceník. TOP HEAT [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://www.nizkenaklady.cz/cenik>
- [24] Produkty Vaillant: Ceník produktů. Vaillant [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <https://www.vaillant.cz/downloads/cen-ky/cenik-vaillant-2017-platny-od-1-2-2017-1173067.pdf>
- [25] Přehled cen elektrické energie: platné od 1.1.2018. TZB info [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/14-prehled-cen-elektricke-energie>
- [26] Přehled cen zemního plynu: platné od 1.1.2018. TZB info [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/13-prehled-cen-zemniho-plynu>

## 9 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| Symbol          | Veličina                                                                                                                            | Jednotka                |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| $A_k$           | Plocha objektu                                                                                                                      | $m^2$                   |
| COP             | Topný faktor                                                                                                                        | —                       |
| $c$             | Měrná tepelná kapacita                                                                                                              | $J \cdot kg^{-1}K^{-1}$ |
| $D$             | Počet denostupňů                                                                                                                    | $K \cdot dny$           |
| $d$             | Počet dní otopné sezóny                                                                                                             | $dny$                   |
| $f_k$           | Teplotní korekční činitel pro stavební část                                                                                         | —                       |
| $f_{\Delta t}$  | Teplotní korekční součinitel zohledňující tepelné ztráty místnosti vytápěných na vyšší teplotu než mají sousední vytápěné místnosti | —                       |
| $n_{min}$       | Nejmenší intenzita výměny venkovního vzduchu                                                                                        | $h^{-1}$                |
| $NP_{PK}$       | Pořizovací cena plynového kotle                                                                                                     | Kč                      |
| $N_{PK,r}$      | Náklady na vytápění za rok plynovým kotlem                                                                                          | Kč                      |
| $NP_{TČ}$       | Pořizovací cena tepelného čerpadla                                                                                                  | Kč                      |
| $N_{TČ,r}$      | Náklady na vytápění za rok tepelným čerpadlem                                                                                       | Kč                      |
| $N_{U,r}$       | Roční úspora                                                                                                                        | Kč                      |
| SCOP            | Sezónní topný faktor                                                                                                                | —                       |
| $T_{in}$        | Teplota zdroje tepla                                                                                                                | K                       |
| $T_{out}$       | Teplota na výstupu                                                                                                                  | K                       |
| $T_N$           | Návratnost                                                                                                                          | rok                     |
| $t_{in}$        | Vnitřní výpočtová teplota                                                                                                           | $^{\circ}C$             |
| $t_{ex}$        | Venkovní výpočtová teplota                                                                                                          | $^{\circ}C$             |
| $t_p$           | Průměrná venkovní teplota za otopné období                                                                                          | $^{\circ}C$             |
| $t_1$           | Teplota studené vody                                                                                                                | $^{\circ}C$             |
| $t_2$           | Teplota ohřáté vody                                                                                                                 | $^{\circ}C$             |
| $U_k$           | Součinitel prostupu tepla objektu                                                                                                   | $W/m^2 \cdot K$         |
| $V_i$           | Objem vytápěného prostoru vypočtený z vnitřních rozměrů objektu                                                                     | $m^3$                   |
| $\dot{V}_{min}$ | Hygienicky nejmenší požadované množství vzduchu pro vytápěný prostor                                                                | $Wm^3/h$                |
| $V_{1d}$        | Celková potřeba teplé vody za den                                                                                                   | $m^3/den$               |
| $Q_{CZ}$        | Celková tepelná ztráta objektu                                                                                                      | W                       |
| $Q_{C,r}$       | Celková roční potřeba tepla                                                                                                         | $kWh/rok$               |
| $Q_{D,r}$       | Roční potřeba energie na vytápění                                                                                                   | $kWh/rok$               |
| $Q_{el}$        | Energie pro pohon kompresoru                                                                                                        | J                       |
| $Q_{in}$        | Energie získaná z okolí                                                                                                             | J                       |
| $Q_{out}$       | Celková získaná energie                                                                                                             | J                       |
| $Q_T$           | Celková tepelná ztráta prostupem tepla vytápěného prostoru                                                                          | W                       |

| Symbol        | Veličina                                                       | Jednotka          |
|---------------|----------------------------------------------------------------|-------------------|
| $Q_{TUV,d}$   | Denní potřeba tepla pro ohřev TUV                              | $kWh/den$         |
| $Q_{TUV,r}$   | Roční potřeba energie na ohřev TUV                             | $kWh/rok$         |
| $Q_{T,k}$     | Tepelné ztráty prostupem pro jednotlivé plochy                 | $W$               |
| $Q_V$         | Celková tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru            | $W$               |
| $z$           | Koeficient energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody | —                 |
| $\varepsilon$ | Opravný součinitel                                             | —                 |
| $\eta_o$      | Účinnost obsluhy                                               | —                 |
| $\eta_r$      | Účinnost rozvodu vytápění                                      | —                 |
| $\rho$        | Hustota                                                        | $kg \cdot m^{-3}$ |
| AVTČ          | Asociace pro využití tepelných čerpadel                        |                   |
| ČHMÚ          | Český hydrometeorologický ústav                                |                   |
| EHPA          | European Heat Pump Association                                 |                   |
| TČ            | Tepelné čerpadlo                                               |                   |
| TUV           | Teplá užitková voda                                            |                   |

## **10 SEZNAM OBRÁZKŮ**

- Obr. 2.1 Obecné schéma principu tepelného čerpadla (upraveno) [5]  
Obr. 2.2 Princip SCROLL kompresoru [10]  
Obr. 2.3 Znázornění teoretického pracovního cyklu TČ v T-s diagramu (upraveno) [6]  
Obr. 2.4 Značka kvality „Q“ [11]  
Obr. 3.1 TČ vzduch-voda [12]  
Obr. 3.2 TČ země-voda varianta plošný kolektor [12]  
Obr. 3.3 Průběh teploty v neporušené zemi v závislosti na hloubce a ročním období [14]  
Obr. 3.4 TČ země-voda varianta vrt [12]  
Obr. 3.5 TČ voda-voda varianta studna [12]  
Obr. 3.6 TČ voda-voda varianta vodní plocha [12]  
Obr. 4.1 Obrázek domu  
Obr. 4.1 Procentuální vyjádření ztrát prostupem jednotlivými plochami  
Obr. 5.1 TČ NIBE F2040-8 [19]  
Obr. 5.2 Systémová jednotka NIBE VVM 320 [20]  
Obr. 5.3 Kotel VAILLANT VU 206/5-5 ecoTEC plus [21]  
Obr. 5.4 Zásobník VIH R 120/6 B [22]  
Obr. 6.1 Grafické znázornění pořizovacích cen  
Obr. 6.2 Grafické znázornění návratnosti

## **11 SEZNAM TABULEK**

Tabulka 2.1 Vývoj počtu instalací TČ v ČR za rok 2010 až 2016 [4]

Tabulka 4.1 Tepelné ztráty prostupem pro jednotlivé plochy.

Tabulka 4.2 Tepelné ztráty podle výpočtu

Tabulka 4.3 Tepelné ztráty podle online kalkulačky [17]

Tabulka 4.4 Roční potřeba elektrické energie

Tabulka 5.1 Rozměry TČ [19]

Tabulka 5.2 Rozměry systémové jednotky [20]

Tabulka 6.1 Cena TČ

Tabulka 6.2 Cena plynového kotle

Tabulka 6.3 Sazba D 57d

Tabulka 6.4 Cena plynu