



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta elektrotechnická**

**Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**

## **Ekonomické vyhodnocení otopné soustavy u rodinného domu**

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektrotechnika a management

Vedoucí: Ing. Josef Černošous

**Aleš Schier**

---

**Praha 2023**



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Schier** Jméno: **Aleš** Osobní číslo: **487592**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Specializace: **Elektrotechnika a management**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Ekonomické vyhodnocení otopné soustavy u rodinného domu**

Název bakalářské práce anglicky:

**Economic analysis heat system installation into the family house**

Pokyny pro vypracování:

1. Zpracujte druhy otopných soustav v rodinných domech
2. Vypočítejte energetické potřeb vybraného RD s ohledem na otopnou soustavu
3. Navrhněte otopné soustavy do vybraného RD
4. Vyhodnotte technické a ekonomické aspekty navrhovaných otopných soustav.

Seznam doporučené literatury:

1. Beranovský J., Truxa J.: Alternativní energie pro váš dům. ERA group spol. s.r.o., 2004, 2. aktualizované vydání.
2. Kislíngerová E.: Manažerské finance. C.H. Beck, 3. vydání 2010.
3. Knápek J., Geuss E.: Ekologie a ekonomika. Vydavatelství CVUT, 2000.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Josef Černošous CVUT v Praze FEL K13116**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

\_\_\_\_\_

Datum zadání bakalářské práce: **13.09.2022** Termín odevzdání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

Platnost zadání bakalářské práce: **19.02.2024**

\_\_\_\_\_  
Ing. Josef Černošous  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta



## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 6. 1. 2023

.....

Aleš Schier



## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Josefu Černohousovi za poskytnuté rady, připomínky a odborné vedení při tvorbě této práce.





## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem vhodného tepelného čerpadla do rodinného domu jako levnějšího zdroje oproti již fungujícího plynového kondenzačního kotle. V práci jsou spočteny tepelné ztráty a tepelné potřeby vybraného rodinného domu. Dále jsou analyzovány možnosti realizace jednotlivých typů tepelných čerpadel z technického hlediska. Následuje analýza trhu s tepelnými čerpadly jejímž výstupem je cenová nabídka různých typů tepelných čerpadel. Pro tyto tepelná čerpadla je spočtena úspora na energiích při přechodu na vytápění tepelným čerpadlem. Nakonec jsou použity některá ekonomická kritéria k nalezení nejlepší investice. Shrnutím výsledků je nalezeno optimální řešení zajištění tepelných potřeb objektu.

**Klíčová slova:** tepelné čerpadlo, tepelné ztráty, potřeba tepla, topný faktor, čistá současná hodnota

## Abstract

This bachelor's thesis deals with the design of a suitable heat pump for a family house as a cheaper source compared to an already functioning gas-fired condensing boiler. Heat losses and heat needs of the selected family house are calculated in the work. Furthermore, the possibilities of realizing individual types of heat pumps are analysed from a technical point of view. The following is an analysis of the heat pump market, the output of which is a price offer for various types of heat pumps. Energy savings are calculated for these heat pumps when switching to heat pump heating. Finally, some economic criteria are used to find the best investment. By summarizing the results, an optimal solution for ensuring the building's thermal needs is found.

**Keywords:** heat pump, heat loss, the need of heat, coefficient of performance, net present value



# OBSAH

<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>13</b>
<b>2. OTOPNÁ SOUSTAVA V RD</b> .....	<b>14</b>
2.1. Otopné soustavy s přirozeným/nuceným oběhem.....	15
2.2. Otopná tělesa.....	15
2.3. Zdroje vytápění .....	17
2.4. Tepelná čerpadla .....	18
2.4.1. Země-voda.....	20
2.4.2. Vzduch-voda .....	21
2.4.3. Voda-voda.....	21
2.4.4. Vzduch-vzduch.....	22
<b>3. TEORETICKÝ VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT</b> .....	<b>23</b>
3.1. Výpočet tepelných ztrát prostupem.....	24
3.1.1. Měrný tepelný tok $HT, ie$ .....	24
3.1.2. Měrný tepelný tok $HT, ia$ .....	25
3.1.3. Měrný tepelný tok $HT, ig$ .....	25
3.1.4. Výpočet součinitele prostupu tepla $U$ .....	26
3.2. Výpočet tepelných ztrát větráním .....	28
3.3. Shrnutí výpočtu tepelných ztrát.....	29
<b>4. POPIS VYBRANÉHO RODINNÉHO DOMU</b> .....	<b>30</b>
4.1. Výpočet tepelných ztrát vybraného RD .....	35
4.2. Roční potřeba tepla RD.....	36
4.2.1. Roční potřeba tepla na vytápění.....	37
4.2.2. Roční potřeba tepla na přípravu TV.....	37
4.3. Dimenzování zdroje tepla.....	38
<b>5. REALIZOVATELNOST TČ VE VYBRANÉM RD</b> .....	<b>39</b>
5.1. TČ země-voda plošný kolektor .....	39
5.2. TČ země-voda geotermální vrt.....	41
5.3. TČ voda-voda.....	41
5.4. TČ vzduch-voda .....	42
5.4.1. Příklad stanovení bodu bivalence.....	42
<b>6. ANALÝZA TRHU S TČ</b> .....	<b>44</b>
<b>7. ÚSPORA ROČNÍCH NÁKLADŮ NA VYTÁPĚNÍ</b> .....	<b>46</b>
7.1. Úspora přechodem na vytápění TČ.....	47
<b>8. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ INVESTIC</b> .....	<b>49</b>
<b>9. ZÁVĚR</b> .....	<b>51</b>
<b>CITOVANÁ LITERATURA</b> .....	<b>53</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK</b> .....	<b>55</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>56</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>56</b>
<b>SEZNAM GRAFŮ</b> .....	<b>57</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>57</b>



# 1. ÚVOD

Jedním z požadavků tepelné pohody v obytných prostorech je zajištění návrhové teploty v každé místnosti obytného prostoru. K tomu je využíváno otopné soustavy, která zahrnuje mimo jiné zdroj tepla. Je trendem posledních dvaceti let používat jako zdroj tepla tepelné čerpadlo, které je výhodné z důvodu své vysoké účinnosti a své nezávislosti na fosilních palivech.

V této práci je navrženo zmíněné tepelné čerpadlo, a to podle možností konkrétního vybraného rodinného domu. Aby bylo možné stanovit samotný výkon tepelného čerpadla je potřeba znát tepelné ztráty objektu, potažmo i potřeby tepla objektu. Při znalosti tepelných ztrát si lze nechat udělat cenovou nabídku od různých firem a tyto nabídky pak dále mezi sebou porovnávat, a to takovým způsobem, aby bylo nalezeno optimální řešení.

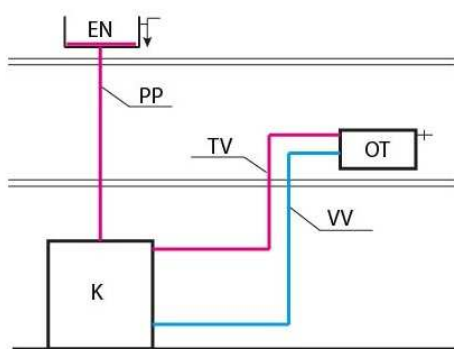
Limitující je samozřejmě proveditelnost daného typu tepelného čerpadla v objektu z hlediska technického. To znamená například dostatečná velikost přilehlého pozemku pro uložení zemního kolektoru nebo dostatek spodní vody pro získávání tepla ze studniční vody.

Po analýze daných možností jak z technického, tak i z cenového hlediska lze počítat možnou úsporu, která nastane přechodem z vytápění stávajícím plynovým kotlem na vytápění daným tepelným čerpadlem. Zároveň pro nalezení optimálního řešení dodávky tepla do objektu tepelným čerpadlem se použijí kritéria ekonomické efektivity, používaná pro nalezení nejvhodnější investice.

## 2. OTOPNÁ SOUSTAVA V RD

Otopná soustava (OS) v budově je souhrn všech zařízení zajišťujících potřeby tepla budovy. Je to tedy soustava zařízení obsahující zdroj tepla, potrubní síť, zabezpečovací zařízení, otopná tělesa, armatury apod. [1]. Otopné soustavy se dělí podle:

- Teplonosné látky – parní, vodní, teplovzdušné soustavy.
- Tlaku teplonosné látky – podtlakové (do absolutního tlaku 100 kPa), nízkotlaké (parní do přetlaku 70 kPa), středotlaké (parní do přetlaku 1,6 MPa).
- Teploty teplonosné látky – nízkoteplotní (do 65 °C), teplovodní (do 115 °C), horkovodní (od 115 °C).
- Sdílení tepla – sálavé, konvenční.
- Počtu trubek – jednorubkové s obtoky těles a bez obtoků těles, dvoutrubkové protiproudé nebo souproudé, vícetrubkové.
- Umístění rozvodu teplonosné látky – s horním rozvodem, dolním rozvodem.
- Oběhu teplonosné látky – s nuceným oběhem, přirozeným oběhem.
- Rozvodu k otopným tělesům – vertikální, horizontální.
- Spojení otopné soustavy s atmosférou – otevřené, uzavřené. [1]



K	Zdroj tepla.
TV	Potrubí topné vody.
VV	Potrubí vratné vody.
PP	Pojistné potrubí.
OT	Otopné těleso.
EN	Expanzní nádoba.

Obrázek 1 – Otopná soustava [2]

Při návrhu otopné soustavy se běžně setkáme s pojmem tepelná pohoda. Tepelná pohoda je definována jako zajištění optimálního tepelně vlhkostního mikroklima, především pak tepelného stavu interiérů. Pro zajištění tepelné pohody nestačí pouze dodržet výši optimální teploty jednotlivých místností, ale je nutné dodržet i správnou relativní vlhkost vzduchu odpovídající dané teplotě. Dále je potřeba zajistit přívod dostatečného množství čerstvého vzduchu. A při výměně vzduchu nesmí docházet k přílišnému víření prachu (negativní vliv na alergie) a k průvanu. Parametrem tepelné pohody je také maximální přípustný rozdíl mezi teplotou u hlavy a teplotou u nohou. Tento rozdíl stanovuje pro pracovní prostředí Nařízení vlády č.361/2007 Sb., orientačně se pohybuje kolem 3,5 °C. Uvedené nařízení vlády samozřejmě stanovuje i další podmínky týkající se tepelné pohody na pracovišti a ochrany zdraví při práci. Tepelnou nepohodou se nazývá stav, kdy nejsou dodrženy požadavky tepelné pohody. [3] [4]

## 2.1. Otopné soustavy s přirozeným/nuceným oběhem

Otopná soustava s přirozeným oběhem teplotně nosné látky se zakládá na tlaku v soustavě vyvolaném rozdílnou hustotou vratné (studené) a přívodní (teplé) teplotně nosné látky. Nevýhodou je menší provozní tlak v porovnání s OS s nuceným oběhem. Dalšími nevýhodami jsou pak velká tepelná setrvačnost, velké průměry potrubí a nemožné použití vhodných regulačních prvků. Avšak výhodou je absence oběhového čerpadla, které pro svoji funkci vyžaduje elektrickou energii. Zdroj tepla je nutné umístit níž než otopná tělesa, z tohoto důvodu je tento typ soustavy vhodný do vyšších objektů s velkým výškovým rozdílem mezi zdrojem tepla a otopnými tělesy. Používá se především pro kotle na tuhá paliva. OS s přirozeným oběhem obvykle využívá otevřené expanzní nádoby. [1]



Obrázek 2 – Řez expanzní nádobou [5]

OS s nuceným oběhem teplotně nosné látky je založená na použití oběhového čerpadla, které zajišťuje potřebný tlak v soustavě. Výhodou je především možnost zajištění lepších hydraulických a teplotních parametrů oproti OS s přirozeným oběhem. Soustavy se složitějšími potrubními sítěmi je potřeba provozovat s nuceným oběhem, aby se dosáhlo potřebného tlaku v soustavě. Oběhová čerpadla se umísťují na přívodním potrubí. Využívá se pak dnes již pouze uzavřené soustavy s expanzní nádobou obsahující membránu či vak. Tato expanzní nádoba zajišťuje potřebný přetlak v soustavě a zároveň vyrovnává změny objemu teplotně nosného média v soustavě. V případě nepřijatelného přetlaku v soustavě je na kotli umístěn pojistný ventil. Při naplnění otopné soustavy teplotně nosnou látkou je potřeba odvzdušnit celou soustavu, to se provádí na nejvýše posazeném otopném tělese odvzdušňovacím ventilem. [1]

## 2.2. Otopná tělesa

Otopná tělesa jsou zařízení používaná k vytápění jednotlivých místností. Rozeznáváme buď lokální, nebo ústřední vytápění. Lokální otopná tělesa předávají teplo přímo do místnosti, ve které jsou umístěny. Ústřední vytápění předává teplo do místnosti skrze médium (nejčastěji voda), které je ohříváno v centrálním zdroji tepla. K předávání tepla mezi otopnými tělesy a okolím dochází sáláním, kondukcí a radiací. Součet topných výkonů všech otopných těles nacházejících se v jedné místnosti musí pokrýt tepelné ztráty této místnosti, tak aby bylo dosaženo návrhové teploty místnosti. [1] Otopná tělesa dělíme na:

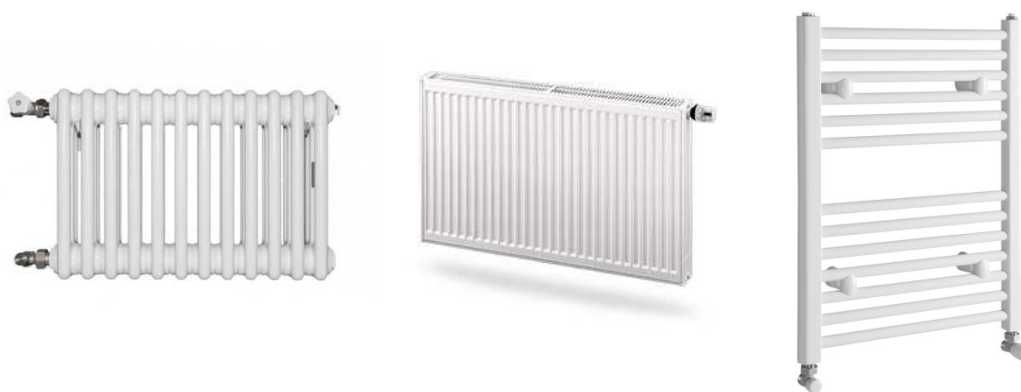
- Konvekční.
- Sálavé otopné plochy.
- Teplovzdušné jednotky.
- Lokální topidla. [1]

Mezi konvekční otopná tělesa patří otopná tělesa článková, desková, trubková a konvektory. Otopná tělesa se v budově umísťují na nejvíce ochlazovanou plochu, což je obvykle stěna či okno. Vzhledem k tomu, že studený vzduch klesá dolů a teplý nahoru, dochází v okolí oken – vlivem netěsností rámu oken – k pronikání studeného vzduchu do spodní části místnosti a tím k vytváření tepelné nepohody. K zajištění tepelné pohody se otopná tělesa umísťují pod okno na střed okna, tím se zajistí odvod studeného vzduchu proudem teplého vzduchu z otopného tělesa ke stropu místnosti. Otopné těleso by mělo svojí šířkou odpovídat šířce okna. [1]

Článeková otopná tělesa (radiátory) se vyrábějí z šedé litiny, ocelového plechu nebo z hliníku. Nejlepší vlastnosti vykazují radiátory vyrobené z hliníku, ale v důsledku jejich vysoké pořizovací ceny nejsou tak používané jako radiátory z šedé litiny. Radiátory se používají pro teplovodní soustavy. Vzhledem ke svému velkému objemu nejsou vhodná pro OS s nuceným oběhem, nereagují dostatečně pružně na regulační zásah. [1] [3]

Desková otopná tělesa se používají pro OS s nuceným oběhem. Malý objem vody umožňuje rychlou reakci na regulační zásah. Trubková otopná tělesa se používají v RD asi nejčastěji jako koupelnové žebříky. Používají se jak s přirozeným, tak i s nuceným oběhem teplovodní OS. Desková otopná tělesa dělíme na jednoduchá, zdvojená, ztrojená. [1]

Existují dva druhy konvektorů, konvektory podlahové a povrchové. Podlahové konvektory obsahují otopný výměník tepla, který je umístěn ve žlabu z ocelového plechu pod úrovní podlahy a celý žlab je chráněn krycí mřížkou. Otopný výměník tepla je napojen na teplovodní systém. Tento typ konvektoru se umísťuje do podlahy u oken, velkých skleněných ploch a skleněných dveří sousedících s venkovním prostorem. Výhodou je, že nezabírají užitečný prostor a při tom neovlivňují výběr podlahové krytiny. Povrchové konvektory se skládají z plechové skříně, která je ze spodu neuzavřená a shora je zakrytá mřížkou. Využívá přirozeného proudění vzduchu. V dolní části konvektoru je umístěn otopný výměník tepla. [1] [6]



Obrázek 3 – Otopná tělesa, zleva článekové [7], deskové [8], trubkové [9]

Sálavé otopné plochy jsou tvořeny, podle umístění, podlahovými, stěnovými a stropními otopnými tělesy. Nejčastěji jsou tvořeny z plastové PEX trubky vhodně stočené a uložené ve vrstvě podlahy, stěny či stropu. Použití podlahového vytápění minimalizuje cirkulaci vzduchu a tím i víření prachu, z toho důvodu je vhodné pro osoby trpící alergiemi. Nevýhodou je delší tepelná setrvačnost a obtížnější regulace. Používá se zejména tam, kde není možné nebo vhodné použít otopná tělesa nebo v místech, kde je požadována vyšší teplota (koupelny, bazény). [1]

Teplovzdušné vytápění je způsob vytápění, kdy se teplo do místnosti dostává výhradně vzduchem. Tedy teplonosným médiem není voda, ale vzduch. Vzhledem k tomu, že vzduch je podstatně horším nosičem tepla, je potřeba realizovat větší rozvody teplovzdušného vytápění oproti teplonosnému. Výhodou je ovšem větší pružnost na regulační zásah. Tento druh vytápění zajišťuje výměnu vzduchu pro zajištění hygienických požadavků, filtraci vzduchu a dílčí nebo celkové pokrytí tepelných ztrát. Běžně se používá v kombinaci s teplovodním vytápěním jako doplňkové. Teplovodní vytápění zajistí vytápění



Obrázek 4 – Podlahové vytápění [10]



místností budovy na teplotu o něco málo nižší, než je návrhová. Teplovzdušné vytápění zde pak pracuje pouze k docílení návrhové teploty místností. Teplovodní vytápění je v činnosti mnohem déle než teplovzdušné. [1] [11]

## 2.3. Zdroje vytápění

Zdrojem vytápění jsou veškerá zařízení určená k zisku tepla pro vytápění. Jsou to například kotle, topidla, kamna, krby, tepelná čerpadla, solární kolektory. Každé takovéto zařízení musí svým výkonem pokrýt tepelné ztráty celé budovy.

Nejpoužívanější jsou bezesporu kotle. Vyrábí se ve velmi široké škále výkonů. Kotel je zařízení, které získává energii spalováním paliva a tuto energii dále předává teplonosné látce. Rozeznáváme celou řadu kotlů. Dále v textu jsou uvedeny pouze ty nejvýznamnější. Nejdokonalejším kotlem je kotel kondenzační, který získává teplo ze spalin. Účinnost takového kotle je až 110 %, zatímco běžné kotle nabývají účinnosti 80 % – 90 %. Kondenzační plynový kotel využívá vodní páry ve spalinách. Tato vodní pára, ve výměníku, předá svoje teplo vratné vodě směřující do kotle, tím dojde k přehřátí vratné vody. Při ochlazení vodní páry pocházející ze spalin, tato pára zkondenzuje, proto se tento typ kotle nazývá kondenzační. Přehřáté vodě se tak nemusí dodávat takové množství tepla a tím dojde ke zvětšení účinnosti celého zařízení. [12]

Dalšími z možných kotlů jsou atmosférické plynové kotle a kotle na uhlí. Kotle spalující paliva musí mít zajištěn odvod kouřových spalin. Kouřové spaliny se běžně odvádějí komínem nebo přes stěnu. V případě, že v budově není vyhovující komín a nelze postavit vyhovující musí být kouřové spaliny odvedeny přes stěnu, takovéto kotle se pak nazývají trubokotle. Kromě kotle na uhlí a zemní plyn existuje dále elektrokotel. Elektrokotel pracuje s účinností 99 %, avšak náklady na provoz jsou výrazně vyšší než u kotlů na tuhá paliva či na zemní plyn. Kotle se ovšem nepoužívají pouze pro zajištění tepelných ztrát RD, ale také k ohřevu teplé vody, takový kotel se nazývá kombikotel. [1] [3]

Lokálním zdrojem tepla je například topidlo, tímto zdrojem se většinou vytápí jedna nebo dvě místnosti. Topidlo neohřívá teplonosnou látku, ale přímo vzduch v dané místnosti. Jako palivo je používáno uhlí, zemního plynu, propan-butanu a elektrické energie. [3]



Obrázek 5 – Řez solárním kolektorem [13]

Doposud byly popisovány zdroje tepla získávající energii z nerostného bohatství, teplo lze ovšem získávat i ze zdrojů obnovitelných jako je především sluneční záření. Jedním ze zdrojů využívající tuto formu energie je solární kolektor. Solární kolektor se používá k přitápění, k ohřevu bazénové vody, k ohřevu teplé vody a během teplejších období v roce k ohřevu teplonosné látky pro sálavé otopné plochy. Jako samostatný zdroj tepla v budově je nevyhovující, protože nepokryje tepelné ztráty budovy, především v zimních měsících. Je potřeba jej provozovat s dalším zdrojem tepla jako je například kotel. Základní částí solárního kolektoru je absorbér. Absorbérem je plochá deska s neodrazivým povrchem (tmavým). Na této desce jsou uchyceny trubky protékající nemrznoucím teplonosným médiem odvádějícím teplo absorbované deskou. Podle tvaru dělíme solární konvektory na ploché a trubicové. Podle teplonosného média pak na kapalínové a vzduchové. V případě trubicových solárních konvektorů je absorbér zataven ve vakuové trubici, tím se sníží tepelné ztráty do okolí mimo kolektor. Nejvyššího tepelného zisku se dosáhne, pokud sluneční záření dopadá kolmo na plochu solárního kolektoru. Nedílnou

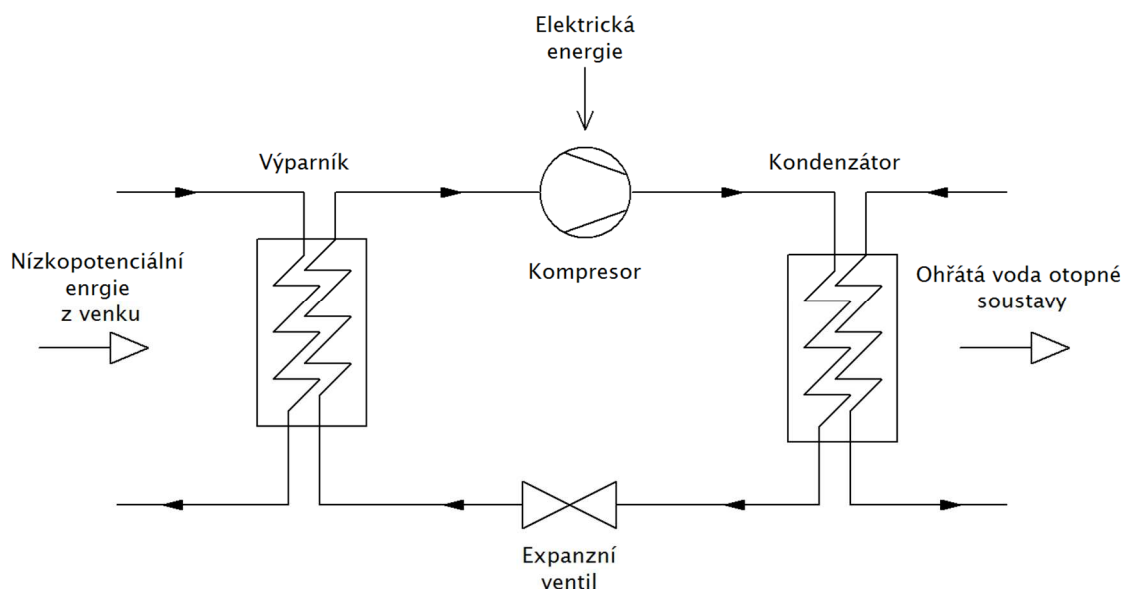
součástí solárního kolektoru je výměník tepla (akumulační nádrž), který plní funkci zásobníku tepla, pro zajištění nepravidelného přísunu a odběru tepla. Objem těchto nádrží se pohybuje od desítek do stovek litrů. [1] [14] [15]

Zdrojem vytápění využívajícím obnovitelné zdroje je i tepelné čerpadlo, vzhledem k tomu, že se dále v této práci budu zabývat především návrhem tepelného čerpadla do vybraného RD, tepelným čerpadlům vyčlením samostatnou kapitolu.

## 2.4. Tepelná čerpadla

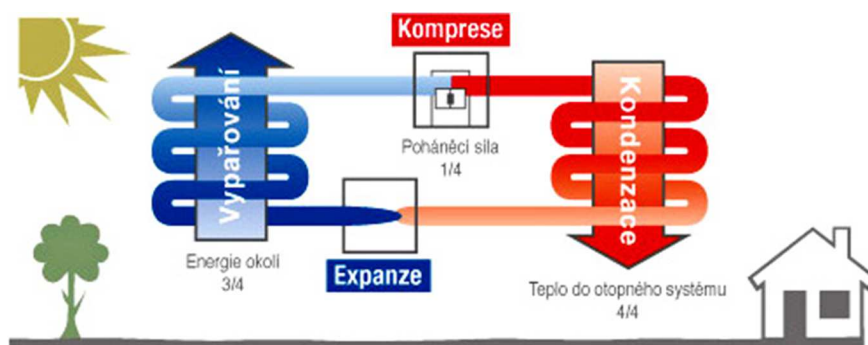
Tepelné čerpadlo je zařízení, které dokáže využívat nízkopotenciální energii pro ohřev vody v otopné soustavě domu. Ke svému provozu potřebuje pouze malé množství elektrické energie. Pracuje na principu výměny tepla, při kterém teplejší těleso předává svou energii chladnějšimu tělesu, a to tak dlouhou, dokud se jejich teploty nevyrovnejí.

TČ odebírá teplo z venkovního prostředí (země, voda, vzduch) a předává ho teplotonosné látce, případně ohřívá TV, a to i při teplotách pod bodem mrazu. Nízkopotenciální teplo akumulované ve venkovním prostředí je důsledkem slunečního záření dopadajícího na Zeměkouli a geotermální energie.



Obrázek 6 – Schéma tepelného čerpadla

Princip TČ názorně popisuje obrázek 6. Skrz expanzní ventil prochází chladicí kapalné médium (nemrznoucí chladicí kapalina), které se v tomto ventilu prudce ochladí, a to na teplotu nižší, než je teplota venkovního prostředí (voda, vzduch, země), z něhož je odebírána nízkopotenciální energie. Takto ochlazené médium se pod tlakem vstříkuje do výparníku. Do výparníku je zároveň přiváděno pomocí vhodného média (vzduch, voda), nízkopotenciální teplo z venku. Médium nesoucí nízkopotenciální teplo předá svoji energii chladicímu médium, tím zvýší teplotu tohoto média a dojde k jejímu odparu. Chladicí médium ve formě plynu pokračuje dále do kompresoru. [14]



Obrázek 7 – Zjednodušený princip TČ [16]

V kompresoru se plyn stlačí, čímž se zahřeje. Za kompresorem si tedy chladicí médium, stále ve formě plynu, nese s sebou nízkopotenciální energii, energii teplených ztrát na elektromotoru kompresoru a energii tepelných ztrát vzniklých třením pohyblivých ploch kompresoru. V tomto místě má stlačený plyn vyšší teplotu, než je teplota teplotonosné látky otopného systému. Stačí teda předat toto teplo teplotonosné látce, to se děje v kondenzátoru. V kondenzátoru se plyn ochladí a tím přejde do kapalného stavu. Chladicí médium v kapalném stavu pokračuje dále do expanzního ventilu a proces se opakuje. [14]

Důležitým parametrem TČ je jeho účinnost a tepelný výkon. Účinnost TČ se nazývá topný faktor (COP) a odpovídá poměru tepelného výkonu k elektrickému příkonu kompresoru. Běžně se pohybuje od 2 do 5. Topný faktor se snižuje, se snižující se teplotou nízkopotenciálního tepla a zvyšující se teplotou teplotonosné látky tzn. v zimě vykazuje TČ nižší účinnost než během teplejších období v roce. Tepelný výkon TČ se běžně pohybuje od 5 kW do 30 kW. Teplota výstupní teplotonosné látky z TČ se pohybuje v rozmezí 50 °C – 55 °C při použití v nízkoteplotní soustavě. Dalším důležitým parametrem je SCOP – sezónní topný faktor udávající průměrný topný faktor za topnou sezónu. Jinak řečeno, je to COP vztaženo na celý rok. [14] [15]



Obrázek 8 – Venkovní jednotka TČ vzduch-voda [17]

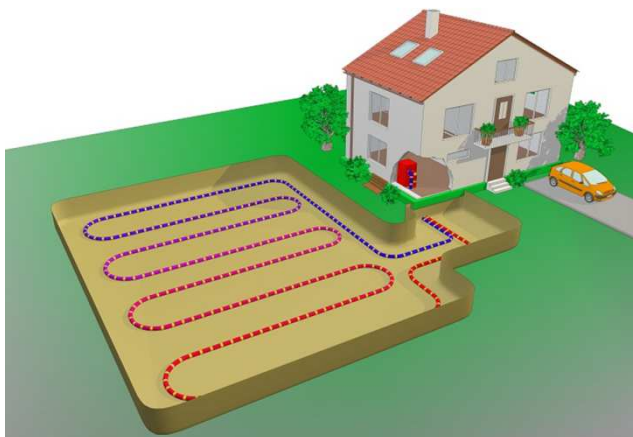
TČ se běžně používá v bivalentním provozu. Bivalentní provoz znamená provozování TČ společně s dalším zdrojem tepla například kotlem. Při poklesu venkovní teploty pod bivalentní bod (teplota -5 °C až -8 °C) není TČ schopno dodat potřebné teplo do otopných těles, proto je nutné zbývající část tepla získat z druhého zdroje. Opakem bivalentního provozu je monovalentní provoz. Instalovaný tepelný výkon TČ v bivalentním provozu je menší, než kolik je maximální potřebný (obvykle 50 % - 80 %). Provozovat TČ v monovalentním provozu je možné, ale vyžadovalo by to dimenzování TČ na velký tepelný výkon, a to by znamenalo celkový růst investičních nákladů. [14] [15]

TČ se dělí podle druhu nízkopotenciálního tepla a podle druhu teplotonosné látky. Nízkopotenciální teplo je obsaženo pouze ve vzduchu, vodě a zemi. Jako teplotonosné látky se používají pouze voda a vzduch. Podle toho se TČ dělí na země-voda, vzduch-voda, voda-voda, vzduch-vzduch atd.

## 2.4.1. Země-voda

TČ tohoto typu odebírá teplo ze země. V závislosti na hloubce a způsobu uložení soustavy trubek rozeznáváme dva druhy TČ země-voda, a to na horizontální (plošný kolektor) a vertikální (hlubinný vrt) [1]. Soustava trubek uložených v zemi se nazývá kolektor nebo také zemní jímač [14]. Trubky jímače jsou vyrobeny z polyethylenu a jsou protékány nemrznoucí směsí (například vodou s glykolem nebo vodou se solí – solankou) [14]. TČ tohoto typu je považováno za nejstabilnější, protože je schopno dodávat teplo po celý rok [18].

Pro TČ země-voda plošný kolektor platí, že se soustava trubek umísťuje v hloubce 1,2 až 2 m, přičemž pro uložení této soustavy trubek se provádí úzké výkopy šířky 1 m nebo se svazek trubek uloží do rýhy. Vlivem odebírání tepla z půdy dochází v okolí kolektoru k zamrznání půdy, proto je nutné kolektor umístit minimálně 2 m od základů RD nebo jiné stavby. A 1,5 m od vodovodních a kanalizačních vedení. Pokud není možné poslední podmínku splnit, musí se vodovodní či kanalizační vedení dostatečně izolovat. Výhodou tohoto provedení TČ jsou nízké investiční náklady a relativně snadná instalace. Ovšem značnou nevýhodou je potřeba dostatečně velké plochy, proto je vhodné tento typ TČ realizovat pro RD s velkou přilehlou zahradou. Na 1 kW výkonu TČ je potřeba 5 až 8 m dlouhý výkop. Měrné výkony jímání se pohybují od  $10 \text{ Wm}^{-2}$  do  $40 \text{ Wm}^{-2}$ , podle typu zeminy. [1] [14] [15]



Obrázek 9 – TČ země-voda plošný kolektor [19]

Ovšem značnou nevýhodou je potřeba dostatečně velké plochy, proto je vhodné tento typ TČ realizovat pro RD s velkou přilehlou zahradou. Na 1 kW výkonu TČ je potřeba 5 až 8 m dlouhý výkop. Měrné výkony jímání se pohybují od  $10 \text{ Wm}^{-2}$  do  $40 \text{ Wm}^{-2}$ , podle typu zeminy. [1] [14] [15]

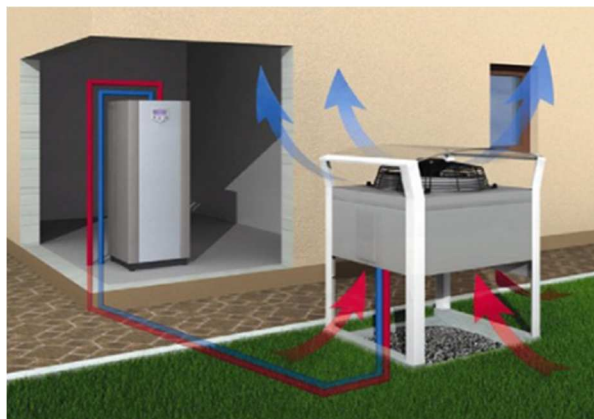
Druhou možností, jak získat teplo ze země je vyhloubit dostatečně hluboký vrt. Hloubka vrtu se pohybuje od 30 m do 150 m s minimální roztečí vrtů 10 m. Měrný výkon se pak pohybuje od  $30 \text{ Wm}^{-1}$  až po  $100 \text{ Wm}^{-1}$ . Běžně se provádí několik vrtů a u novostavby je možné umístit všechny vrty do základů. Nevýhodou jsou vyšší investiční náklady. [1] [14] [15]



Obrázek 10 – TČ země-voda hlubinný kolektor [20]

## 2.4.2. Vzduch-voda

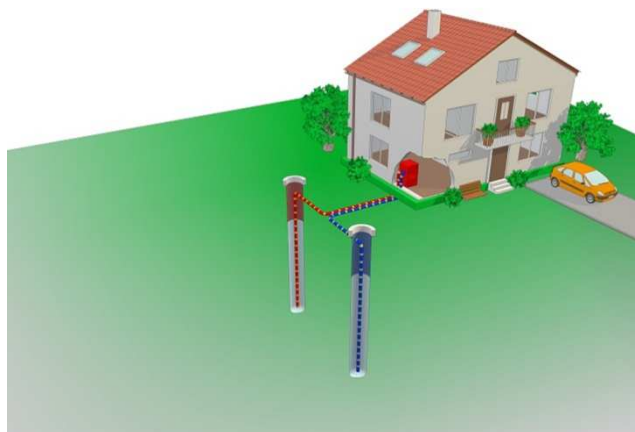
TČ tohoto typu lze namontovat prakticky na jakoukoliv stavbu a jeho velikou výhodou je, že zde odpadají nutné zemní a stavební práce. Tyto TČ běžně pracují až do teploty  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Velikou výhodou je, možnost reverzního chodu TČ. Tím lze dosáhnout ochlazování objektu v letních měsících. Investiční náklady jsou výrazně nižší než u TČ typu země-voda. Značnou nevýhodou je, že výkon TČ se mění s teplotou venkovního vzduchu a tím se mění i parametry TČ. TČ se umísťuje na volné prostranství, přívod vzduchu k výparníku pak zajišťuje ventilátor. Při teplotách v rozmezí  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$  se na výparníku tvoří námraza ze zkondenzované vzdušné vlhkosti. Tuto námrazu je potřeba odstranit například reverzační funkcí TČ. Při teplotách pod  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ke tvoření námrazy nedochází, protože vzduch je suchý. V opačném případě, při teplotě nad  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$  nedochází k námraze, protože vzduch je dostatečně teplý i po ochlazení odevzdáním nízkopotenciálního tepla. Vzduch procházející TČ vytváří určitou úroveň hluku. Tento hluk může rušit jak investora, tak i sousedy, proto je třeba brát ohled na umístění jednotky na pozemku. [1] [14] [18]



Obrázek 11 – TČ vzduch-voda [21]

## 2.4.3. Voda-voda

Zdrojem nízkopotenciálního tepla u tohoto TČ je povrchová voda (stojatá) nebo spodní voda (studniční). TČ se umísťuje do vytápěného prostoru, aby v zimě nezamrzalo. Pro využití spodní vody se poblíž TČ vyhloubí dvě studny, z nichž jedna se nazývá sací (odběrová) a druhá vsakovací (vratná). Ze sací studny se odebírá voda, ze které je odebíráno nízkoteplotní teplo. Po ochlazení v TČ se tato voda vrací zpátky do země skrze vsakovací studnu. Vzdálenost studní od sebe musí být minimálně 15 m a vodní zdroj (obě studny) nesmí být vzdáleny od TČ dále než 15 m. Je důležité, aby byl vodní zdroj dostatečně mohutný a dokázal tak pokrýt tepelné potřeby RD. Dále je potřeba, aby vsakovací studna byla situována takovým způsobem, aby směr proudění vody v zemi směřoval od studny vsakovací ke studni sací (během cesty ze studny vsakovací ke studni sací zvýší svoji teplotu na teplotu země a může být znova využita v TČ). Doporučená hloubka studní je 10 m, v této hloubce je teplota vody po celý rok přibližně konstantní. [1] [3] [14]



Obrázek 12 – TČ voda-voda (studniční voda) [19]

#### 2.4.4. Vzduch-vzduch

Tepelná čerpadla vzduch-vzduch pracují na stejném principu jako TČ vzduch-voda, jen s tím rozdílem, že tepelný výkon předávají vnitřnímu vzduchu objektu. Výhodou těchto TČ je nižší pořizovací cena, rychlá a jednoduchá instalace a možnost chlazení objektu. Ovšem toto TČ není vhodné pro objekty s větším počtem místností. Další nevýhodou je nemožnost ohřevu teplotosné látky v otopném systému a hlučnost zařízení.

### 3. TEORETICKÝ VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT

Pro správné dimenzování zdroje tepla v budově je nutné znát tepelné potřeby dané budovy. Tepelná potřeba budovy je dána především požadovanou (návrhovou) teplotou v jednotlivých místnostech. Vzhledem k tomu, že obálka budovy není stoprocentně tepelně izolovaná od okolního prostředí, dochází k neustálému vyrovnávání teplot mezi vnitřním prostředím a prostředím venkovním, stejně tak i mezi jednotlivými místnostmi s rozdílnou teplotou. To způsobuje odvod tepla z budovy do okolního prostředí a tím dochází k ochlazování místností budovy a budovy jako celku. Tedy při návrhu tepelného zdroje budovy je potřeba znát souhrnný odvod tepla z budovy, nebo-li tepelné ztráty. Zdroj se pak dimenzuje na výkon odpovídající těmto tepelným ztrátám.

Samozřejmě je možné navrhnout výkon zdroje takřkajíc od oka, ale tím se vystavujeme riziku, že bude zdroj předdimenzovaný a v důsledku toho i náročnější na počáteční investice. V opačném případě, a to je horší, bude zdroj poddimenzovaný a nepokryje potřeby tepla budovy, a nezajistí tak návrhové teploty po jednotlivých místnostech.

Tepelné ztráty budovy lze spočítat podle normy ČSN EN 12831-1. Tato norma nabízí tři metody výpočtu tepelných ztrát. Základní metoda je univerzální a lze ji použít na veškeré budovy. Zbylé dvě metody jsou zjednodušené a jsou tak omezeny okrajovými podmínkami. Druhá metoda je určena na výpočet tepelných ztrát samotné místnosti, a ne pro budovu jako celek. Třetí metodou lze spočítat tepelné ztráty celé budovy s tím, že se zde využije zjednodušení, kdy se na vnitřek budovy nahlíží jako na jednu místnost a počítá se prostup tepla obálkou budovy. Tuto metodu lze použít pro výpočet vybraného rodinného domu, avšak výsledek bude spíše orientační. Je tomu proto, že vnitřní výpočtová teplota budovy se volí podle teploty, která přísluší místnosti s nejvíce reprezentativním charakterem celé budovy. Tedy dochází k určité chybě a výsledek nebude tak přesný jako při použití výpočtu 1. metodou. V této práci spočítám tepelné ztráty podle univerzální první metody. [22]

Návrhový tepelný výkon budovy je určen součtem tepelných ztrát prostupem, tepelných ztrát větráním, zátopovými výkony a zápornou hodnotou tepelných zisků. [22] Tepelné zisky vznikají v rodinném domě vždy. Například samotná přítomnost živé osoby představuje tepelný zisk, dále to pak může být aktivní spotřebič či teplá voda z boileru. Zátopový výkon je tepelný výkon dodatečného zdroje, jenž se využívá po tepelném útlumu, kdy je potřeba dosáhnout vnitřní výpočtové teploty v určitém čase. Vzhledem k tomu, že v budově není požadováno dosažení vnitřní výpočtové teploty za určitý čas není zde zátopový výkon nutný, proto ho v této práci zanedbám. Stejně tak zanedbám i tepelné zisky, které se zohledňují pouze v případech, kdy jsou trvalé. [22]

Návrhový tepelný výkon se tak rovná součtu tepelných ztrát, proto dále v textu používám namísto návrhového tepelného výkonu, jak je uvedeno v normě [22], tepelné ztráty.

$$\Phi_{HL} = \sum_i (\Phi_{Tie} + \Phi_{Tiae} + \Phi_{Tig}) + \Phi_V \quad (1)$$

kde

$\Phi_{HL}$	jsou celkové tepelné ztráty [W]
$\Phi_{Tie}$	tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru $i$ do venkovního prostředí [W]
$\Phi_{Tiae}$	tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru $i$ do venkovního prostředí přes nevytápěný prostor [W]
$\Phi_{Tig}$	tepelné ztráty prostupem do zeminy [W]
$\Phi_V$	tepelné ztráty větráním [W] [22]

Dále je výpočet rozdělen na dvě části, výpočet tepelných ztrát prostupem  $\Phi_{Ti}$  a výpočet tepelných ztrát větráním  $\Phi_V$ .

### 3.1. Výpočet tepelných ztrát prostupem

Celkové tepelné ztráty prostupem  $\Phi_T$  jsou dány součtem dílčích tepelných ztrát prostupem  $\Phi_{Ti}$  jednotlivých místností  $i$ . A tepelné ztráty jednotlivých místností jsou určeny sumou měrných tepelných toků vynásobenou rozdílem vnitřní a venkovní výpočtové teploty.

$$\Phi_{Ti} = (H_{T,ia} + H_{T,ie} + H_{T,iae} + H_{T,ig}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (2)$$

kde

$\Phi_{Ti}$	jsou celkové tepelné ztráty prostupem místnosti $i$ [W]
$H_{T,ia}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru $i$ do sousedního vytápěného prostoru [W/K]
$H_{T,ie}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru $i$ do venkovního prostředí [W/K]
$H_{T,iae}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru $i$ do venkovního prostředí přes nevytápěné prostory [W/K]
$H_{T,ig}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostředí $i$ do země [W/K]
$\theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová teplota [°C]
$\theta_e$	venkovní výpočtová teplota [°C] [22]

K výpočtu měrných tepelných toků je nutné znát plochu konstrukcí označenou v normě ČSN EN 12831-1 jako  $A$ , dále pak součinitel tepelné vodivosti  $U$  a některé konstanty.

#### 3.1.1. Měrný tepelný tok $H_{T,ie}$

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěné místnosti do venkovního prostředí je dán:

$$H_{T,ie} = \sum_k (A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k}) \quad (3)$$

kde

$A_k$	je plocha stavební konstrukce $k$ [ $m^2$ ]
$U_k$	součinitel prostupu tepla stavební části $k$ [ $W/m^2K$ ]
$\Delta U_{TB}$	přirážka na vliv tepelných vazeb; $\Delta U_{TB} = 0$ [ $W/m^2K$ ]
$f_{U,k}$	opravný číselník zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy; $f_{U,k} = 1$ [–]
$f_{ie,k}$	teplotní opravný číselník [–], viz rovnice (4) [22]

$U_{TB}$  přirážka na vliv tepelných vazeb zohledňuje tepelné mosty. Tepelný most je místo v konstrukci, které má větší tepelnou vodivost než okolní materiály, z nichž je stavební konstrukce



složena. Zvýšenou tepelnou vodivostí materiálů způsobující tepelný most dochází na povrchu tohoto materiálu k výraznému snížení teploty a v důsledku toho ke kondenzaci par na povrchu tohoto materiálu. V případě větších tepelných mostů v rodinném domě je pak silně doporučeno tyto tepelné mosty vhodně izolovat jinak dochází, v těchto místech ke tvorbě plísní. Pokud jsou tepelné mosty zohledněny jiným způsobem je  $U_{TB} = 0$ . Tepelné mosty jsem zohlednil při výpočtu součinitele prostupu tepla  $U$ .

Vlastnosti stavebních částí a povětrnostní vlivy byli zohledněny při výpočtu U-hodnot, z toho důvodu je opravný činitel  $f_{U,k} = 0$ . [22]

Tepelné ztráty prostupem jsou vypočítány jako suma měrných tepelných toků vynásobená rozdílem vnitřní výpočtové teploty a venkovní výpočtové teploty v důsledku toho je potřeba jednotlivé měrné tepelné toky korigovat aby je bylo možné takto násobit rozdílem zmíněných teplot. Laicky řečeno měrný tepelný tok  $H_{T,ia}$  při prostupu z vytápěné místnosti do jiné vytápěné místnosti nemůže být násoben rozdílem  $(\theta_{int,i} - \theta_e)$ . Správně by měl být násoben rozdílem  $(\theta_{int,i} - \theta_a)$ . Aby bylo možné jednotlivé měrné tepelné toky vzájemně porovnávat, musí se měrné tepelné toky vynásobit teplotním opravným činitelem  $f_{ix,k}$ .

Teplotní opravný činitel  $f_{ie,k}$  se spočte podle níže uvedeného vzorce, kde index  $x$  označuje místnost sdílející stavební konstrukci  $k$  s místností  $i$ ,  $\theta_e$  je pak výpočtová teplota venkovního prostředí. Tento vzorec ovšem platí pouze pro místnosti se stropem nižším jak 4 metry. [22]

$$f_{ix,k} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_x}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (4)$$

### 3.1.2. Měrný tepelný tok $H_{T,ia}$

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěné místnosti  $i$  do jiné vytápěné místnosti se spočte podle:

$$H_{T,ia} = \sum_k \langle A_k \cdot U_k \cdot f_{ie,k} \rangle \quad (5)$$

kde

$A_k$	je plocha stavební konstrukce $k$ [ $m^2$ ]
$U_k$	součinitel prostupu tepla stavební části $k$ [ $W/m^2K$ ]
$f_{ie,k}$	teplotní opravný činitel [-], viz rovnice (4) [22]

### 3.1.3. Měrný tepelný tok $H_{T,ig}$

Nakonec tepelný tok prostupem do zeminy:

$$H_{T,ig} = f_{\theta ann} \cdot \sum_k \langle A_k \cdot U_{equiv,k} \cdot f_{GW,k} \cdot f_{ig,k} \rangle \quad (6)$$

kde

$A_k$	je plocha stavební části $k$ s přímým kontaktem se zeminou [ $m^2$ ]
$U_{equiv,k}$	ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části $k$ [ $W/m^2K$ ]; viz kapitola 3.1.4 rovnice (10)

$f_{\theta_{ann}}$	opravný činitel zohledňující vliv změny venkovní teploty v průběhu roku; $f_{\theta_{ann}} = 1,45 [-]$
$f_{GW,k}$	opravný činitel zohledňující vliv spodní vody; $f_{GW,k} = 1 [-]$
$f_{ig,k}$	teplotní opravný činitel $[-]$ [22]

### 3.1.4. Výpočet součinitele prostupu tepla $U$

Součinitel prostupu tepla udává, množství tepla, které projde za časovou jednotku jedním  $m^2$  stavebního dílce při teplotním rozdílu na jeho površích  $1 K$  [23]. Značí se  $U$  a jednotkou je  $W/m^2K$ . Součinitel prostupu tepla tedy udává tepelně izolační vlastnosti materiálu či celé stavební konstrukce. Čím je hodnota tohoto součinitele menší tím vykazuje stavební prvek lepší tepelně izolační vlastnosti. Součinitel prostupu tepla lze spočítat podrobnějším způsobem podle normy ČSN EN ISO 10211 nebo zjednodušeným výpočtem podle normy ČSN EN ISO 6946. Níže popíší zjednodušený výpočet podle normy ČSN EN ISO 6946.

Součinitel prostupu tepla  $U$  je definován jako převrácená hodnota tepelného odporu  $R [m^2K/W]$  [24]:

$$U = \frac{1}{R} \quad (7)$$

Tepelný odpor udává míru odporu proti pronikání tepla. Snahou je co nejvyšší tepelný odpor konstrukce, platí totiž, že čím je tepelný odpor vyšší tím daná konstrukce vykazuje lepší tepelně izolační vlastnosti. Tepelný odpor vrstvy se spočte jako podíl tloušťky materiálu  $d [m]$  vrstvy a tepelné vodivosti materiálu  $\lambda [W/mK]$  [24].

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (8)$$

Tepelná vodivost materiálu  $\lambda$  je materiálová konstanta udávající schopnost materiálu vést teplo. Hodnoty tepelné vodivosti materiálů lze získat z tabelovaných hodnot z normy [25], případně z katalogů výrobců. V případě prostupu tepla stavební konstrukcí, která se skládá z několika homogenních vrstev, je nutné spočítat celkový tepelný odpor konstrukce podle vzorce:

$$R = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (9)$$

kde

$R_{si}$  je vnitřní odpor při přestupu tepla  $[m^2K/W]$

$R_{se}$  je vnější odpor při přestupu tepla  $[m^2K/W]$

$R_1, R_2, \dots, R_n$  jsou odpory jednotlivých vrstev  $[m^2K/W]$  [24]

Pro výpočet odporu vnitřní stavební konstrukce nebo stavební konstrukce mezi vytápěným a nevytápěným prostředím se uplatní  $R_{si}$  na obou stranách vzorce. Odpory  $R_{si}$  a  $R_{se}$  jsou podle normy [26] definovány jako tepelný odpor mezní vzduchové vrstvy přiléhající bezprostředně k vnitřní nebo vnější straně konstrukce. Hodnoty vnitřního a vnějšího odporu jsou dány tabulkou.

Odpor při přestupu tepla [ $m^2K/W$ ]	Směr tepelného toku		
	Nahoru	Vodorovně	Dolů
$R_{si}$	0.1	0.13	0.17
$R_{se}$	0.04	0.04	0.04

Tabulka 1 – Konvenční odpory při přestupu tepla [24]

Takto spočtený součinitel prostupu tepla je platný pouze v případě, kdy měrný tepelný tok prochází z objemu vzduchu do jiného objemu vzduchu skrze stavební konstrukci. Ovšem v případě, kdy měrný tepelný tok prochází stavební konstrukcí z objemu vzduchu do zeminy je nutné součinitel prostupu tepla ( $U_{equiv,k}$ ) zjistit podle normy ČSN EN ISO 13370. Pro případ měrného tepelného toku procházejícím skrze podlahu do zeminy se  $U_{equiv,k}$  spočte podle rovnic (10) až (13):

$$U_{equiv,k} = \frac{2 \cdot \lambda_g}{\pi \cdot B + d_f + 0,5 \cdot z} \cdot \ln \left( \frac{\pi \cdot B}{d_f + 0,5 \cdot z} + 1 \right) \quad (10)$$

kde

- $\lambda_g$  je tepelná vodivost zeminy [ $W/m \cdot K$ ]
- $d_f$  celková ekvivalentní tloušťka [ $m$ ]
- $B$  charakteristický rozměr podlahy [ $m$ ]
- $z$  hloubka podlahy suterénu pod úroveň okolního terénu [ $m$ ] [27]

Výše uvedená rovnice (10) je platná pouze za podmínky  $d_f + 0,5 \cdot z < B$ , pakliže není tato podmínka splněna, platí:

$$U_{equiv,k} = \frac{\lambda_g}{0,457 \cdot B + d_f + 0,5 \cdot z} \quad [27] \quad (11)$$

Charakteristický rozměr podlahy  $B$  [ $m$ ] je pouze plocha podlahy  $A$  [ $m^2$ ] podělená polovinou délky jejího obvodu  $P$  [ $m$ ].

$$B = \frac{A}{0,5 \cdot P} \quad [27] \quad (12)$$

Nakonec celková ekvivalentní tloušťka podlahy:

$$d_f = d_{w,e} + \lambda_g \cdot (R_{si} + R + R_{se}) \quad (13)$$

kde

- $R$  tepelný odpor podlahy suterénu [ $m^2 \cdot K/W$ ]; spočtený podle rovnic (8) a (9)
- $d_{w,e}$  celková tloušťka stěn na úrovni terénu [ $m$ ] [27]

U budovy obsahující suterén nabývá měrný tepelný tok směru do zeminy skrze stěnu suterénu. Pro tento měrný tepelný tok je potřeba spočítat ekvivalentní součinitel prostupu tepla podle již zmíněné normy [27].

$$U_{equiv,k} = \frac{2 \cdot \lambda_g}{\pi \cdot z} \cdot \left( 1 + \frac{0,5 \cdot d_f}{d_f + z} \right) \cdot \ln \left( \frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad (14)$$

kde  $d_w$  je celková ekvivalentní tloušťka stěn daná tepelným odporem stěn suterénu  $R_w$  a tepelnou vodivostí zeminy, ostatní veličiny jsou popsány výše.

$$d_w = \lambda_g \cdot (R_{si} + R_w + R_{se}) \quad (15)$$

## 3.2. Výpočet tepelných ztrát větráním

Tepelnou ztrátu větráním vytápěné místnosti lze spočítat zjednodušeným výpočtem podle vzorce:

$$\Phi_{V,i} = \rho \cdot c_p \cdot n_{min,i} \cdot V_i \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (16)$$

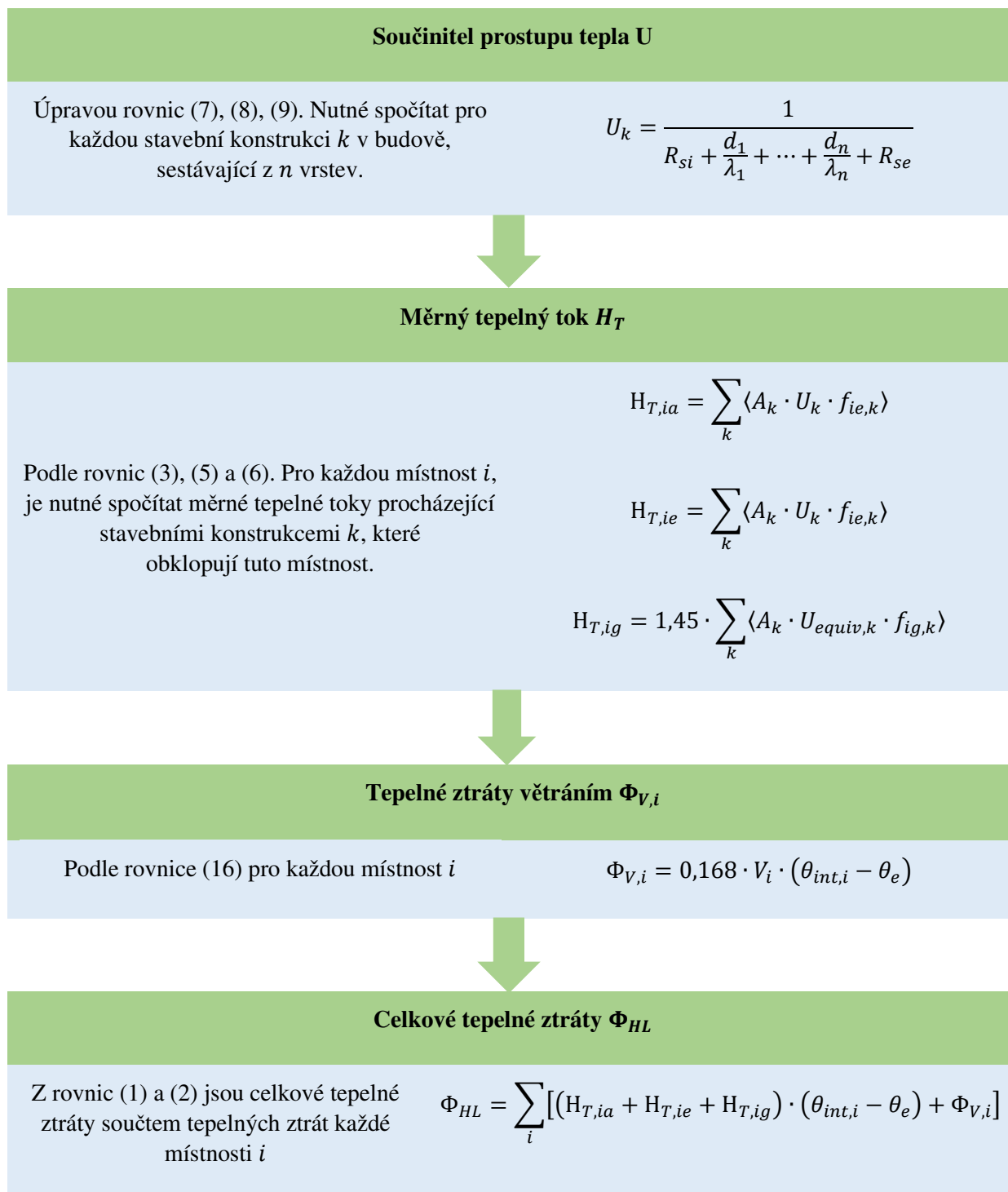
kde

$\Phi_{V,i}$	je tepelná ztráta větráním, místnosti $i$ [W]
$\rho$	je hustota vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě $\theta_{int,i}$ ; $\rho = 1,2$ [kg/m <sup>3</sup> ]
$c_p$	měrná tepelná kapacita vzduchu při $\theta_{int,i}$ ; $c_p = 0,28$ [Wh/kg · K]
$n_{min,i}$	minimální intenzita větrání místnosti $i$ ; $n_{min,i} = 0,5$ [h <sup>-1</sup> ]
$V_i$	vnitřní objem místnosti $i$ [m <sup>3</sup> ]
$\theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová teplota místnosti $i$ [°C]
$\theta_e$	vnější výpočtová teplota [°C] [22]

Minimální intenzita větrání je podle [22] definována jako počet výměn vzduchu za hodinu, potřebných pro dodržení odpovídající úrovně kvality vzduchu. Doporučenou hodnotou podle [28] je pak  $n_{min,i} = 0,5$  [h<sup>-1</sup>], při trvalém větrání. To znamená, že vzduch v každé místnosti je potřeba během jedné hodiny vyměnit minimálně z jedné poloviny, aby bylo dodrženo odpovídající úrovně kvality vzduchu (snížení znečištění vzduchu, obsahu CO<sub>2</sub>, vlhkosti, pachů atd.).

### 3.3. Shrnutí výpočtu tepelných ztrát

Výpočet tepelných ztrát je poměrně složitý proces, při kterém je zapotřebí spočítat nemalé množství veličin. Vyznat se v těchto výpočtech, které jsou uvedeny výše, je poněkud náročné, proto zde uvádím shrnutí těch nejdůležitějších vzorců a zároveň i jejich časovou souslednost. Obrázek níže tedy uvádí časovou posloupnost výpočtu většiny veličin (s odkazem na zdrojové rovnice) a nakonec i výpočet celkových tepelných ztrát.

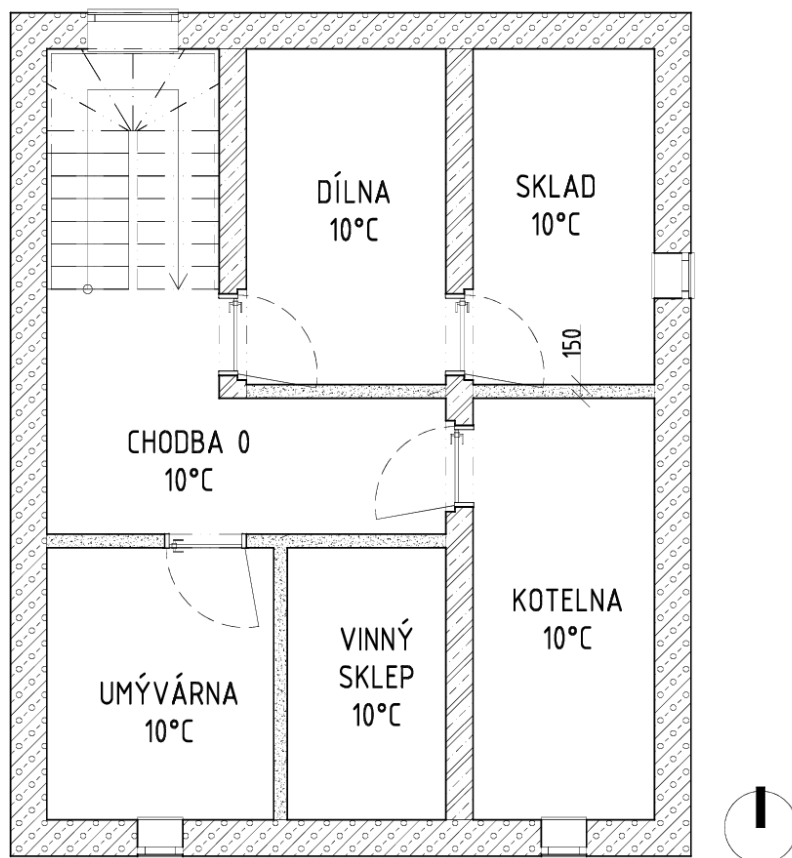


Obrázek 13 – Hlavní kroky výpočtu celkových tepelných ztrát.

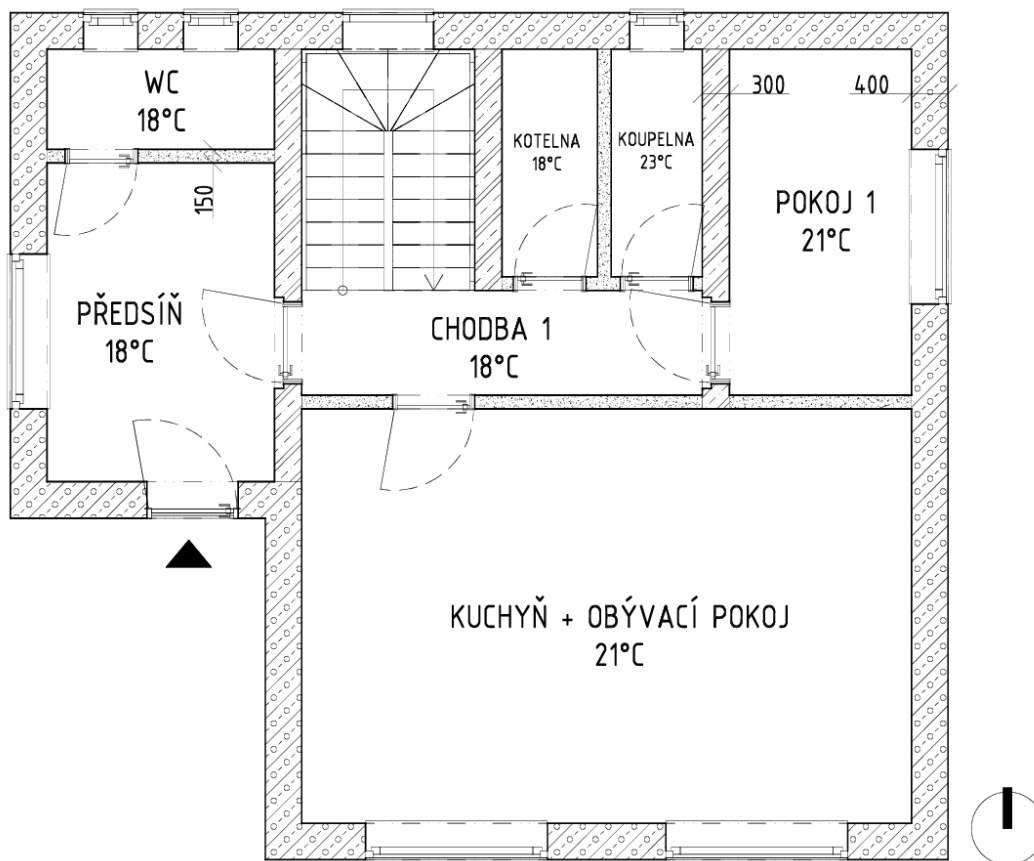
## 4. POPIS VYBRANÉHO RODINNÉHO DOMU

Objektem pro výpočet je dvoupodlažní podsklepený rodinný dům nacházející se v obci Vidče ve Vsetínském okrese. Dům byl postaven v roce 1960. Následně v roce 1975 proběhla rekonstrukce, kdy byl vystavěn přístavek (obývací pokoj I. NP). Roku 1996 byla zateplena nová fasáda a roku 2009 došlo k výměně oken. Objekt se nachází na pozemku o rozloze 935 m<sup>2</sup>, z toho nezastavěná plocha činí 802 m<sup>2</sup>. Přes část pozemku vedou dráty vysokého napětí.

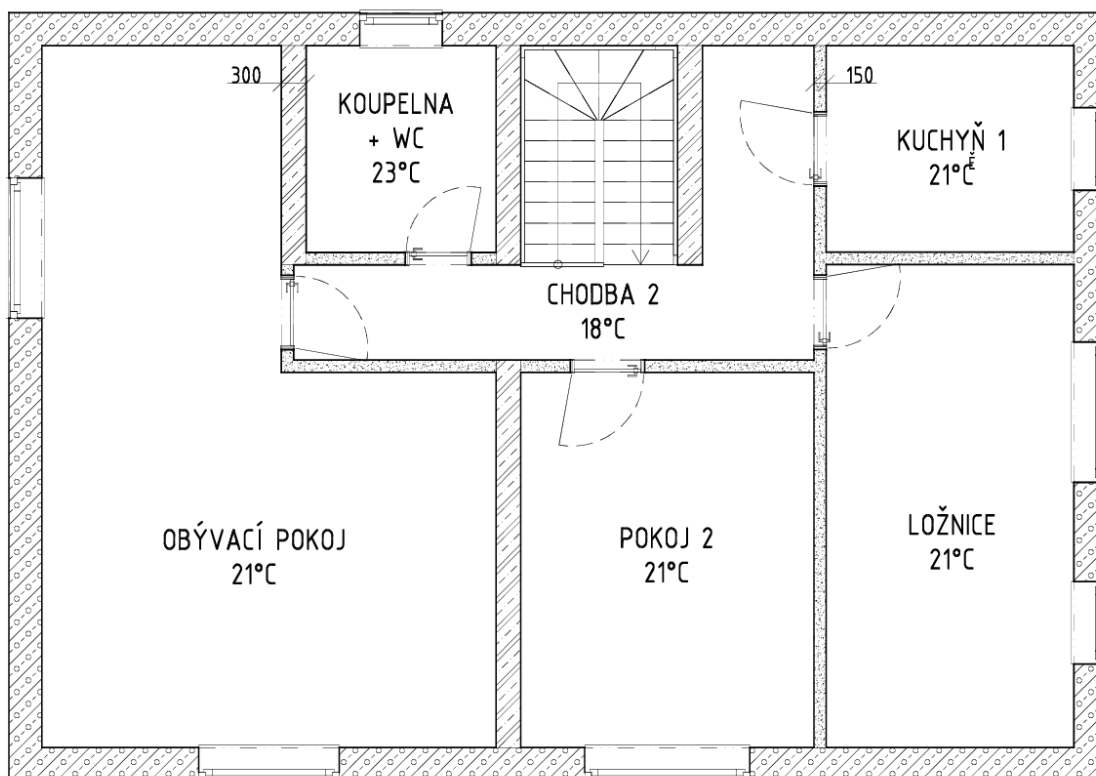
Objekt je připojen na obecní rozvod plynu. Vytápění a ohřev TV rodinného domu je zajištěn turbo kotlem typu IMMERGAS VICTRIX ZEUS SUPERIOR 26 o výkonu 26 kW. Otopná soustava je nízkoteplotní (do 65 °C) s nuceným oběhem teplonosné látky a otopná tělesa tvoří hliníkové článkové radiátory. Stavba je osazena v terénním zářezu a v suterénu nalezneme umývárnu, vinný sklep, kotelnu, dílnu a schodiště. V přízemí je umístěna předsíň, WC, obývací pokoj s kuchyňským koutem, koupelna, kotelna, pokoj a schodiště jak do suterénu, tak i do I. NP. V prvním nadzemním podlaží je pak koupelna s WC, obývací pokoj, pokoj ložnice, kuchyně a chodba se schodištěm. Samotný obývací pokoj v I. NP je dosti specifický, protože se nachází v přístavku vystaveném pouze v I. NP ale už ne v přízemí, je tedy podepřen sloupy. Zároveň přízemí není zcela podsklepeno. Podsklepená není předsíň a WC.



Obrázek 14 – Půdorys suterénu



Obrázek 15 – Půdorys přízemí



Obrázek 16 – Půdorys I. NP

Tabulka 2 udává vnitřní výpočtové teploty a současně i pokladní vrstvu dané místnosti. Pro zjednodušení se v budově nachází pouze koberec, dlažba či holý beton jako pokladní vrstva.

	Místnost	$\theta_{int}$ [°C]	Podklad
I. NP	Kuchyň 1	21	dlažba
	Ložnice	21	koberec
	Chodba 2	18	dlažba
	Schodiště - I. NP	18	dlažba
	Pokoj 2	21	koberec
	Obývací pokoj	21	koberec
	Koupelna a WC	23	dlažba
Přízemí	Předsíň	18	dlažba
	WC	18	dlažba
	Garáž	0	beton
	Kuchyň a obývací pokoj	21	koberec
	Chodba 1	18	dlažba
	Schodiště - přízemí	18	dlažba
	Kotelna	18	dlažba
	Koupelna	23	dlažba
	Pokoj 1	21	koberec
I. PP	Chodba 0	10	beton
	Schodiště - suterén	10	dlažba
	Umývárna	10	beton
	Vinný sklep	10	beton
	Kotelna	10	beton
	Sklad	10	beton
	Dílna	10	beton

Tabulka 2 – Vnitřní výpočtové teploty místností objektu s pokladní vrstvou.

Vchodové dveře jsou plné s rozměry 100x220 cm, vnitřní pak prosklené o rozměrech 80x200 cm. Okna jsou plastová s trojsklem o rozměrech 50x30 cm, 50x80 cm, 50x120 cm, 60x200 cm, 170x120 cm a 210x120 cm. Fasáda je zateplena polystyrenem tloušťky 10 cm a heraklitem tloušťky 1,5 cm. Výška stropu všech podlaží je 2,5 m. Hloubka podlahy suterénu pod úroveň okolního terénu je 2 m. Venkovní výpočtová teplota pro okres Vsetín je -15 °C.

Následující dvě tabulky podrobně představují skladbu všech konstrukcí počítaného objektu. Ve střeše jsou systematické tepelné mosty, ve formě krokví, které je třeba při výpočtu zohlednit. Rozměry krokví jsou 8x20 cm s tím, že jsou od sebe vzdáleny 1 m a jejich výška, totiž 20 cm odpovídá tloušťce izolace Rockwool. Součinitel tepelné vodivosti dřevěných krokví je 0,22 W.m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>. Součinitel tepelné vodivosti země je pro hlíny a jíly 2 W.m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup> [27].



Stavební konstrukce	Materiál (interiér -> exteriér)	Tloušťka d [m]	$\lambda$ [W.m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ] <sup>1</sup>	
Stěna obvodová - suterén	Omítka vápenná	0.003	0.88	
	Plná cihla	0.3	0.88	
	Kamenný obklad	0.03	0.036	
Stěna obvodová – přízemí a I. NP	Omítka vápenná	0.003	0.88	
	Cihla Porotherm 30	0.3	0.17	
	Pěnový polystyren	0.1	0.04	
	Heraklitová deska	0.015	0.093	
	Brizolitová omítka	0.015	0.83	
Vnitřní zdivo tl. 15	Omítka vápenná	0.003	0.88	
	Porotherm 14	0.14	0.28	
	Omítka vápenná	0.003	0.88	
Vnitřní zdivo tl. 30	Omítka vápenná	0.003	0.88	
	Cihla Porotherm 30	0.3	0.17	
	Omítka vápenná	0.003	0.88	
Podlaha - suterén	Beton hutný	0.1	1.36	
	Asfaltové pásy	0.004	0.21	
	Železobeton	0.15	1.58	
Podlaha - přízemí a I. NP	Dlažba	Keramický obklad	0.01	1.01
		Železobeton	0.06	1.58
		HELUZ MIAKO 23/62.5	0.23	0.1196
		Omítka vápenná	0.003	0.88
	Koberec	Koberec	0.008	0.07
		Polyuretan	0.008	0.042
		Železobeton	0.06	1.58
		HELUZ MIAKO 23/62.5	0.23	0.1196
		Omítka vápenná	0.003	0.88

Tabulka 3 – Skladba konstrukcí, část 1.

<sup>1</sup> Hodnoty součinitele teplené vodivosti jsou vzaty z tabelovaných hodnot normy [15], případně z katalogu výrobců.

Stavební konstrukce	Materiál (interiér -> exteriér)	Tloušťka d [m]	$\lambda$ [W.m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ] <sup>2</sup>
Podlaha nepodsklepená část přízemí	Dlažba	0.01	1.01
	Beton hutný	0.1	1.36
	Asfaltové pásy	0.004	0.21
	Železobeton	0.15	1.58
Podlaha přístavku	Koberec	0.008	0.07
	Polyuretan	0.008	0.042
	Železobeton	0.06	1.58
	HELUZ MIAKO 23/62.5	0.23	0.1196
	Pěnový polystyren	0.1	0.038
	Heraklitová deska	0.015	0.093
	Brizolitová omítka	0.015	0.83
Střecha	Omítka vápenná	0.003	0.88
	Sádrokarton	0.0125	0.22
	Rockwool vlna	0.2	0.039
	OSB deska	0.018	0.13
	Hliníková krytina	0.007	204

Tabulka 4 – Skladba konstrukcí, část 2.

<sup>2</sup> Hodnoty součinitele teplené vodivosti jsou vzaty z tabelovaných hodnot normy [15], případně z katalogu výrobců.

## 4.1. Výpočet tepelných ztrát vybraného RD

Největší vliv na velikost tepelných ztrát mají konstrukce tvořící plášť budovy, tedy obvodové stěny a střecha. Hodnoty součinitelů prostupu tepla podlahy a stěn suterénu, přestože tvoří také obálku budovy, nemají takový význam pro tepelné ztráty, jelikož jsou ohebnané zeminou a výpočtová teplota země je dána průměrnou venkovní teplotou  $\theta_{e,m}$ , která činí 4,9 °C. [22] Vzhledem k tomu, že v roce 1996 bylo provedeno zateplení fasády polystyrenovou a heraklitovou izolací není součinitel prostupu tepla příliš velký (jak je uvedeno v tabulce níže). Jednotlivé součinitele prostupu tepla byly spočteny na webu tzb-info viz [29]. Číslo uvedené v závorce je ekvivalentní součinitel prostupu tepla, se kterým se počítá v případě styku stavební konstrukce se zeminou.

Typ konstrukce	Součinitel prostupu tepla U ( $U_{\text{equiv}}$ ) [W/m <sup>2</sup> K]	Celkový odpor [m <sup>2</sup> K/W]	Tloušťka konstrukce [m]
Obvodové zdivo suterén	0.76 (0.42)	1.32	0.345
Obvodové zdivo v přízemí a I. NP	0.22	4.62	0.433
Vnitřní zdivo tl. 15 - přízemí a I. NP	1.26	0.79	0.17
Vnitřní zdivo tl. 30 - přízemí a I. NP	1.57	0.63	0.33
Podlaha suterén	2.52 (0.54)	0.4	0.254
Podlaha přízemí a I. NP	Koberec	0.38	0.319
	Dlažba	0.43	0.315
Podlaha - nepodsklepená část přízemí	2.45 (1.05)	0.41	0.264
Podlaha přístavku - I. NP	0.16	6.27	0.436
Střecha	0.24	4.19	0.241
Okno	1.1	-	-
Vchodové dveře (plné)	2.3	-	-
Vnitřní dveře s jedním sklem	3.5	-	-

Tabulka 5 – Součinitel prostupu tepla jednotlivých stavebních konstrukcí.

Tepelné ztráty větráním jsou ovlivněné především objemem místnosti a minimální intenzitou větrání, která je 0,5 h<sup>-1</sup>. Maximum tepelných ztrát vykazuje místnost v přístavku, tedy obývací pokoj v I. NP. To je předpokládáno jelikož, je tento přístavek ohebnán ze všech stran, vyjma jedné, venkovním prostředím. Celkové tepelné ztráty větráním jsou 2,55 kW a tepelné ztráty prostupem pak 4,14 kW. Výsledné tepelné ztráty objektu jsou pak 6,7 kW.

	Místnost	$\Phi_T$ [W]	$\Phi_V$ [W]
I. NP	Kuchyň 1	164	44
	Ložnice	386	187
	Chodba 1, 2 + schodiště	61	237
	Pokoj 2	289	156
	Obývací pokoj	944	383
	Koupelna a WC	187	59
Přízemí	Předsíň	471	121
	WC	138	38
	Kuchyň a obývací pokoj	677	496
	Kotelna	38	50
	Koupelna	177	58
	Pokoj 1	212	113
I. PP	Chodba 0	393	609
	Schodiště		
	Umývárna		
	Vinný sklep		
	Kotelna		
	Sklad		
Dílna			
$\Sigma$		4138	2554
<b>Tepelné ztráty celkem [kW]</b>		<b>6.692</b>	

Tabulka 6 – Tepelné ztráty po místnostech

## 4.2. Roční potřeba tepla RD

Tepelné ztráty představují výkon, který je nutný dodat do budovy k udržení návrhových teplot jednotlivých místností při konstantní venkovní výpočtové teplotě. Tato teplota je samozřejmě nejnižší teplotou za celý rok, která může nastat. Ovšem v průběhu roku jsou teploty venkovního prostředí různé (nižší) a tím i klesá celkové množství tepla (celkový výkon), které je potřeba dodat do budovy. Tento výkon/množství tepla lze spočítat tzv. denostupňovou metodou. Roční potřeba tepla je množství tepla dodané do objektu během jednoho roku. Spočte se podle vztahu:

$$Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TV,r} \quad (17)$$

kde

$Q_r$  je roční potřeba tepla [Wh/rok]

$Q_{VYT,r}$  je roční potřeba tepla pro vytápění [Wh/rok]

$Q_{TV,r}$  je roční potřeba tepla pro ohřev TV [Wh/rok] [30]

Dále se ve vzorci objevuje roční potřeba tepla pro ohřev vzduchu ve vzduchotechnických zařízeních a roční potřeba tepla pro technologii. Ani jeden zmíněný přírůstek tepla nebudu uvažovat, jelikož se v objektu nenachází ani vzduchotechnické zařízení ani technologie vyžadující teplo.

## 4.2.1. Roční potřeba tepla na vytápění

Roční potřeba tepla na vytápění je dána především tepelnými ztrátami objektu a její výpočet se řídí vzorcem:

$$Q_{VYT,r} = \frac{24 \cdot \Phi_{HL} \cdot \varepsilon \cdot D}{\theta_{is} - \theta_e} \quad (18)$$

kde

24	značí počet hodin za den [h]
$\Phi_{HL}$	jsou celkové tepelné ztráty objektu [W]
$\varepsilon$	je opravný součinitel na snížení teploty, zkrácení doby vytápění [–]
$D$	je počet denostupňů [K · den]
$\theta_{is}$	průměrná vnitřní výpočtová teplota [°C], volím 19 [°C]
$\theta_e$	venkovní výpočtová teplota [°C]; $\theta_e = -15$ [°C] [30]

Opravný součinitel  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \frac{e_i \cdot e_t \cdot e_d}{\eta_0 \cdot \eta_r} \quad (19)$$

kde

$e_i$	nesoučasnost tepelné ztráty větráním a prostupem [–]; volím $e_i = 0,8$
$e_t$	snížení teploty během dne či noci [–]; $e_t = 0,9$
$e_d$	představuje zkrácení doby vytápění objektu s přestávkami v provozu [–]; $e_d = 1$
$\eta_0$	je účinnost rozvodu; $\eta_0 = 0,95$
$\eta_r$	je účinnost obsluhy; $\eta_r = 1$ [30]

Počet denostupňů  $D$  [K · den] je dán součinem počtu dnů otopného období  $d$  [den] a rozdílem průměrné výpočtové teploty vnitřního prostředí  $\theta_{is}$  [°C] a venkovního prostředí  $\theta_{es}$  [°C]. [30]

$$D = (\theta_{is} - \theta_{es}) \cdot d \quad (20)$$

## 4.2.2. Roční potřeba tepla na přípravu TV

Teplu potřebné pro přípravu TV za rok se vypočte podle vztahu:

$$Q_{TVr} = Q_{TV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TV,d} \cdot \frac{50 - t_{svl}}{50 - t_{svz}} (350 - d) \quad (21)$$

kde

$Q_{TV,d}$	denní potřeba tepla pro ohřev TV [Wh · den <sup>-1</sup> ]
$d$	počet dnů otopného období v roce, volím 270

0,8	součinitel zohledňující snížení spotřeby TV v létě
$t_{svl}$	teplota studené vody v létě; $t_{svl} = 15$ [°C]
$t_{svz}$	teplota studené vody v zimě $t_{svz} = 8$ [°C]
350	počet pracovních dní soustavy v roce, kdy se připravuje TV [30]

Denní potřebu tepla pro ohřev TV je nutné dopočíst z rovnice:

$$Q_{TV,d} = \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1) \cdot (1 + z)}{3600} \quad (22)$$

kde

$\rho$	je měrná hmotnost vody; $\rho \sim 1000$ [kg/m <sup>3</sup> ]
$c$	měrná tepelná kapacita vody; $c = 4186$ [J/kg · K]
$V_{2p}$	denní potřeba vody pro přípravu TV [m <sup>3</sup> /den]
$t_2$	teplota ohřáté vody; $t_2 \sim 50$ [°C]
$t_1$	teplota studené vody; $t_1 \sim 10$ [°C]
$z$	tepelné ztráty při ohřevu a distribuci; volím $z = 0,8$ [30]

V objektu se nachází boiler typu Dražice OKCV 160 o objemu 152 litrů (0,152 m<sup>3</sup>). Podle normy ČSN EN 12831-3 se dimenzuje boiler na objem 25 až 60 litrů na osobu, vzhledem k tomu že v objektu trvale žijí pouze 2 dospělé osoby, je objem boileru mírně předdimenzován, ale to není na škodu, tedy není třeba již zavedený boiler měnit za nový. Při průměrné venkovní výpočtové teplotě 4,9 °C vychází podle normy [22] pro okres Vsetín počet dnů otopného období na 270. TV se ohřívá zdrojem na teplotu 50 °C. Za těchto a výše zmíněných parametrů vychází celková roční potřeba tepla na **18 MWh**. V tabulce níže je  $Q_{VTr}$  roční potřeba tepla pro vytápění a  $Q_{TVr}$  je dále roční potřeba tepla pro přípravu TV.

Vypočtené veličiny	
D	3807
$\varepsilon$ [-]	0.8
$Q_{VTr}$ [MWh/rok]	13.6
$Q_{TV,d}$ [kWh/den]	12.7
$Q_{TVr}$ [MWh/rok]	4.1
<b><math>Q_r</math> [MWh/rok]</b>	<b>18</b>

Tabulka 7 – Potřeby tepla pro zvolený RD

### 4.3. Dimenzování zdroje tepla

Výkon zdroje je dán tepelnými ztrátami a výkonem potřebným k ohřátí TV na požadovanou teplotu. Za předpokladu, že se za den spotřebuje celý zásobník TV a ohřev TV probíhá spojitě po celý den, vychází denní potřebný výkon zdroje na 0,5 kW ( $Q_{TV,d}$  převeden na watt). Tepelná ztráta objektu je 6,692 kW. **Výkon zdroje tak musí být 7,2 kW.**

## 5. REALIZOVATELNOST TČ VE VYBRANÉM RD

První otázkou, kterou je potřeba si zodpovědět je k jakému účelu bude TČ používáno, jestli pouze k vytápění, nebo i k ohřevu TV či ke chlazení objektu v letních měsících atd. Další otázkou je výkon TČ. TČ se dimenzuje podle tepelných ztrát objektu a výkonu potřebného pro ohřev TV. Ovšem nabízí se více možností jak provozovat TČ. Jednak je možné zakoupit TČ nízkého výkonu vzhledem k tepelným ztrátám budovy, tím se dosáhne malých pořizovacích investic, ale zato vysokých provozních nákladů TČ. Jinou možností je koupě TČ menšího výkonu než je výkon potřebný k pokrytí tepelných ztrát (případně k ohřevu TV apod.), s tím že bude provozováno v bivalentním provozu, tím se dosáhne nízkých pořizovacích investic i nízkých provozních nákladů. TČ lze samozřejmě dimenzovat i na výkon převyšující tepelné ztráty objektu, ovšem předimenzováním by se zavrátně zvýšili pořizovací investice. Dalším důležitým parametrem při výběru TČ je jeho COP, hlučnost, životnost. Při výběru je také nutné vybrat typ TČ, který koresponduje s možnostmi vytápěného objektu, především pak s jeho okolím. Například RD stojící na malém pozemku je nevhodný pro TČ využívající nízkopotenciální teplo ze země. Stejně tak u RD s pozemkem neobsahujícím dostatek studniční vody, není vhodné využívat nízkopotenciální teplo ze zmíněného zdroje vody. Dalším důležitým aspektem návrhu TČ je teplota otopné soustavy. Pro všechny typy TČ se používá teplota vody v otopné soustavě do 55 °C. Soustava instalovaná ve vybraném RD je nízkoteplotní tedy do 65 °C, tedy není nutné měnit celou otopnou soustavu, lze využít stávající.

Tepelné čerpadlo lze provozovat samostatně nebo v bivalentním provozu, jak už bylo zmíněno. V případě, kdy je provozováno samostatně je nutné jej dimenzovat na celkové tepelné ztráty a k tomuto ztrátovému výkonu je nutné dále připočítat určitý výkon, jako rezervu, který se spotřebuje na odtávání atp. Dimenzovat TČ na výkon odpovídající ztrátám je značně investičně nevýhodné, protože s rostoucím výkonem TČ logicky roste i jeho cena, a navíc využití plného výkonu TČ nastává jen pár dní v roce.

Výhodnější je tedy provozovat TČ v bivalentním provozu v součinnosti s jiným zdrojem tepla. V případě naše RD bude záložním zdrojem plynový kotel. Běžně se užívají v bivalentně alternativním provozu nebo v bivalentně alternativním provozu.

Bivalentně alternativní provoz zapíná záložní zdroj (plynový kotel) v situaci, kdy venkovní teplota dosáhne bodu bivalence  $-5\text{ °C}$  až  $-7\text{ °C}$ . Od této venkovní teploty a nižší se automaticky vypíná TČ a zapíná se záložní zdroj. Záložní zdroj (plynový kotel) pak musí pokrýt svým výkonem veškeré potřeby tepla RD.

Paralelně bivalentní provoz TČ je podobný předešlému, ale umožňuje provoz jak TČ tak i záložního zdroje současně, tedy k již pracujícímu TČ připíná záložní zdroj. Výhodou je možnost dimenzovat záložní zdroj na nižší výkon. Samozřejmostí tohoto provozu je schopnost TČ pracovat i při výrazně nižších teplotách, než je teplota bodu bivalence, a to takovým způsobem, aby byl provoz stále ekonomicky výhodný.

Poslední možností provozu TČ je bivalentně částečně paralelní provoz, který kombinuje dva výše zmíněné provozy. V následujících odstavcích zhodnotím postupně několik typů TČ z hlediska jejich technické proveditelnosti pro vybraný objekt.

### 5.1. TČ země-voda plošný kolektor

TČ země-voda plošný kolektor vyžaduje pro svoje účely dostatečně velkou plochu pozemku. Vybraný objekt disponuje pozemkem o využitelné ploše 802 m<sup>2</sup>. Plošný kolektor se realizuje pouze v místech, kde se nepředpokládá budoucí výstavba například garáže nebo bazénu, je ale možné umístit

kolektor pod příjezdovou cestu. Zároveň není vhodné pěstovat nad kolektorem vysoké stromy, které by svými kořeny mohli poškodit kolektor. Majitel vybraného RD neplánuje výstavbu objektů na pozemku, kterým by byl kolektor na překážku. Problematickým pro vložení kolektoru jsou kanalizace a rozvody vody jdoucí přes pozemek. Podle geoportálů [31] a [32] není přes pozemek vybraného RD vedena ani kanalizace ani vodovod. Může se tak využít celá plocha 802 m<sup>2</sup>.

Běžně se používají dva způsoby uložení zemního kolektoru. Jedním je uložení svazku trubek kolektoru do úzké rýhy o šířce maximálně 10 – 15 cm. [18] Druhým je plošné uložení do výkopu o šířce 0,6 – 0,8 m, do takto vyhloubeného výkopu se pak trubky kolektoru svinou do tzv. slinky. [18] Jednotlivé výkopy plošného uložení musí být od sebe vzdáleny minimálně 1 m a hloubka uložení kolektoru je 1,2 – 2 m.

Norma ČSN EN ISO 15540 uvádí měrný výkon získaný z půdy zemním kolektorem na 16 – 24 W/m<sup>2</sup>, pro vlhkou, soudržnou půdu a dobu provozu 2 400 hodin za rok. Ministerstvo životního prostředí inzeruje na svých webových stránkách [33] mapy půdního složení celé ČR, při vyhledání obce Vidče v těchto mapách je půda v této oblasti označena jako Kambizem, což rozhodně není *vodou nasycený písek a štěrk* [34]. Norma dále uvádí pro určení měrného výkonu podle druhu půdy, půdu označenou jako *suchá, nesoudržná půda* [34]. Ani tento druh půdy se nenachází v dané lokalitě. Proto jsem zvolil výkon daný vlhkou soudržnou půdou.

Kvalita zemského povrchu	Měrný odběrový tepelný tok	
	doba provozu 1 800 h za rok	doba provozu 2 400 h za rok
suchá, nesoudržná půda	10 W/m <sup>2</sup>	8 W/m <sup>2</sup>
vlhká, soudržná půda	20 W/m <sup>2</sup> až 30 W/m <sup>2</sup>	16 W/m <sup>2</sup> až 24 W/m <sup>2</sup>
vodou nasycený písek nebo štěrk	40 W/m <sup>2</sup>	32 W/m <sup>2</sup>

Tabulka 8 – Měrný výkon získaný z plošného kolektoru [34]

Pokud bude TČ země-voda zemní kolektor provozován v monovalentním režimu musí pokrýt celou tepelnou ztrátu objektu při nejnižší dosažitelné teplotě venkovního vzduchu -15 °C a výkon potřebný pro ohřev TV. Tedy je potřeba dimenzovat TČ na výkon 7,2 kW. K dosažení takového výkonu vychází potřebná plocha kolektoru na 450 m<sup>2</sup> – 300 m<sup>2</sup>. K dispozici je 802 m<sup>2</sup>, tedy s umístěním plošného kolektoru na přilehlý pozemek RD není problém, ale provozovat TČ v monovalentním provozu je značně nevýhodné. TČ země-voda lze provozovat v bivalentním provozu a dimenzuje se na 60-80 % celkového potřebného výkonu. [18] Tedy na 4,32 – 5,76 kW. Pro měrný výkon 24 W/m<sup>2</sup> je plocha potřebná k uložení kolektoru 180 m<sup>2</sup> – 240 m<sup>2</sup>. Plocha pro bivalentně pracující TČ vyšla samozřejmě menší než v monovalentním režimu a lze konstatovat, že TČ země-voda plošný kolektor je realizovatelný pro vybraný objekt.

	Podíl TČ na celkovém potřebném výkonu [%]	Potřebný výkon [kW]	Plocha kolektoru pro měrný výkon 16 W/m <sup>2</sup> [m <sup>2</sup> ]	Plocha kolektoru pro měrný výkon 24 W/m <sup>2</sup> [m <sup>2</sup> ]
Bivalentní provoz	60	4.32	270	180
	80	5.76	360	240
Monovalentní provoz	100	7.2	450	300

Tabulka 9 – Přehled plochy kolektoru v závislosti na měrném výkonu TČ a potřebném výkonu



## 5.2. TČ země-voda geotermální vrt

Vrty k jímání nízkopotenciální energie ze země se umísťují v minimální vzdálenosti 10 m od sebe. Hloubka takovýchto vrtů je od 30 m do 150 m. Pro určení hloubky a počtu vrtů je potřeba znát výkon TČ na metr hloubky. Tyto údaje lze získat z normy ČSN EN 15450, která uvádí pro *běžné podloží a vodou nasycený sediment* [34], 50 W/m při době chodu TČ 2 500 hodin ročně. Tato hodnota platí ovšem pouze za podmínek, že TČ nebude mít větší výkon než 30 kW a pro soustavy s nejvýše 5 vrty. Tedy za předpokladu vyvrtání vrtu o hloubce 30 m bude zapotřebí, pro dimenzování TČ na monovalentní provoz, 5 vrtů. Při hloubce vrtu 150 m pak 1 vrt. Tedy podmínky dané normou jsou splněny.

V předešlých kapitolách je uvedeno, že použitelná plocha pozemku je 802 m<sup>2</sup>, ale vyhloubení vrtu vyžaduje jak dostatek místa na příjezd vrtné techniky tak i dostatek prostoru nad místem budoucího vrtu. Přes část pozemku vybraného RD vedou dráty vysokého napětí, tím se výrazně zmenší použitelná plocha pozemku, navíc pozemek bezprostředně přiléhající k budově není pro vrt použitelný. Odhadem lze využít pouze 190 m<sup>2</sup> a dispozičně pozemek dovoluje maximálně 3 vrty. Při 3 vrtech, měrném výkonu 50 W/m a požadovaném výkonu 7,2 kW monovalentně pracujícího TČ vychází hloubka vrtů na 50 m. Při bivalentním provozu bude samozřejmě zapotřebí kratších vrtů nebo menšího počtu vrtů, tedy z pohledu pokrytí požadovaného výkonu RD je tento typ TČ vyhovující. Zda-li pozemek disponuje dostatečnou příjezdovou cestou pro těžkou techniku a zda je skutečně proveditelné instalovat 3 nebo alespoň dva vrty (navzdory drátům vysokého napětí a použitelné ploše pozemku) musí zhodnotit daná firma provádějící instalaci TČ po příjezdu na místo před instalací TČ.

Při realizaci tohoto typu TČ se musí provést vodohospodářský projekt, hydrogeologický posudek (určí možnou hloubku vrtů), technický projekt a projednat danou záležitost na úřadech (územní rozhodnutí, stavební povolení), to už přesahuje rámec této práce, proto budu dále předpokládat, že tento typ TČ je realizovatelný při třech vrtech o hloubce 50 m pro monovalentní provoz TČ.

## 5.3. TČ voda-voda

Pro tento typ TČ lze využít buď studniční vodu, nebo vodní plochu (řeka, rybník). Řeka ani rybník se na pozemku či v blízkosti nenachází. Nabízí se tak pouze využití studniční vody, kde minimální vzdálenost studen musí být 15 m. Na pozemku se již nachází studna, bylo by tak možné realizovat další studnu v případě, že tok spodní vody směřuje skrze pozemek ve zmíněné 15m vzdálenosti od již postavené studny. Případně se nabízí vyhloubit nové dvě studny. Pro zjištění zdroje vody je potřeba provést hydrogeologický průzkum, který obsahuje krom jiného vydatnost pramene, jeho kvalitu a směr toku. Vydatnost zdroje se provádí čerpací zkouškou, kdy je po dobu minimálně 28dní odčerpávána voda ze studny/zkušební vrtu, a to v požadovaném množství. [18] V případě, že se studna/zkušební vrt nevyčerpá a hladina okolních studní není ovlivněna je tento zdroj vody dostatečný. Současně se, ale musí provést vsakovací zkouška do předem zhotovené vsakovací studny. Vsakovací studna musí být postavena na dolním toku spodní vody, tedy tak aby nedocházelo k vracení „použité“ vody do čerpací studně. Další důležitou podmínkou je dostatečná čistota vody, voda nesmí obsahovat příliš velké částice horniny, jinak by zanášela filtry a výměník TČ. [18] Poslední skutečností, kterou je potřeba analyzovat je hloubka studny, protože s rostoucí hloubkou rostou i požadavky na výkon čerpadla čerpající podzemní vodu k povrchu a tím i spotřebu elektrické energie. Pro RD se doporučuje maximální hloubka 25 m. [18] TČ voda-voda se v bivalentním provozu dimenzuje podobně jako TČ země-voda na 60-80 %.

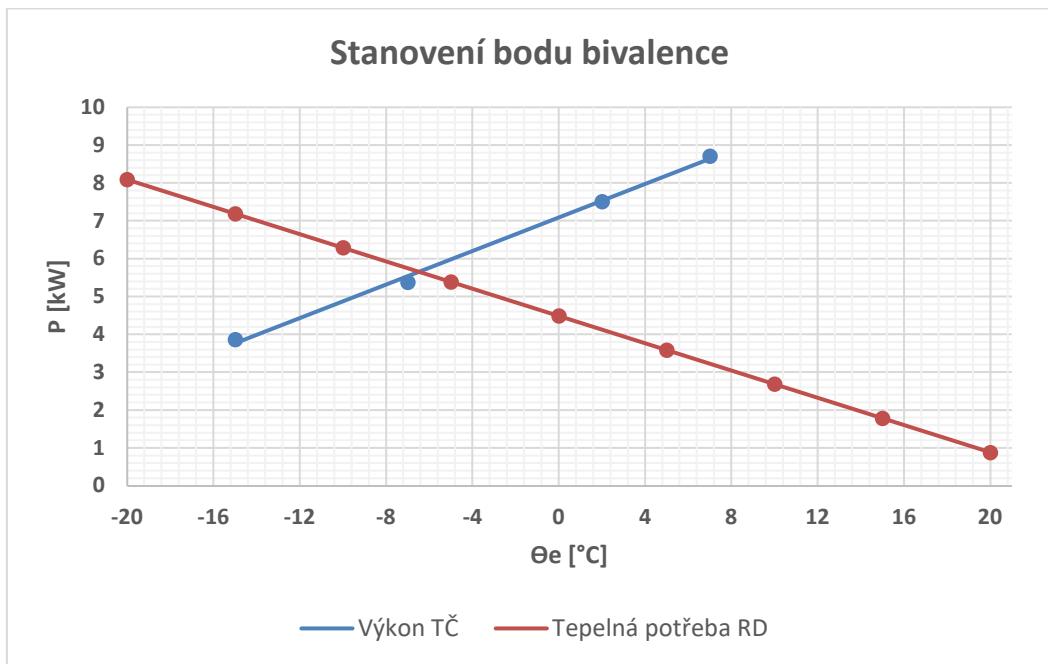
Instalace TČ tohoto typu je nejvýhodnější, protože využívá spodní vodu, která se vyznačuje svou stálou teplotou kolem 10 °C. Značně omezující je ale potřeba dostatečné vydatnosti a kvality zdroje vody. Na 1 kW výkonu TČ je potřeba vydatnost zdroje o 180 l/h. [18] Zda je tento typ TČ realizovatelný ve vybraném objektu je silně závislý na hydrogeologickém průzkum, který se musí nechat vyhotovit od osoby k tomu způsobilé. Vzhledem k tomu, že většina lokalit není vhodná k realizaci tohoto typu TČ nebudu s tímto typem v následujícím textu uvažovat.

## 5.4. TČ vzduch-voda

Jako jediné TČ, instalované pro vytápění RD, se dimenzuje výhradně v bivalentním provozu, jelikož zdrojem nízkopotenciálního tepla je vzduch a v zimě, kdy klesá teplota vzduchu pod bod mrazu by jako samostatný zdroj nevytopil místnosti na návrhové teploty. Poněkud problematickým je hlučnost venkovní jednotky, která i při splnění všech předpisů, může být na obtíž, a to jak pro majitele, tak i pro sousedy. Hlučnost jednotky může dosahovat i 50 dB, proto je vhodné umisťovat ji do zákoutí a míst, které dobře pohlcují zvuk. Nevhodné je pak umístění u oken a kotvení ke stěnám. S umístěním TČ u vybraného RD není problém. TČ se optimálně dimenzuje na 70 – 90 % potřebného výkonu podle [18]. Výhodou TČ vzduch-voda je možnost chlazení objektu v reverzním režimu TČ. U všech typů TČ je důležité správně zvolit bod bivalence. Jak na to ilustruji na příkladu v následující kapitole 5.4.1.

### 5.4.1. Příklad stanovení bodu bivalence

Teplota, při které se připíná záložní zdroj k TČ se zjistí z průsečíku křivky výkonu TČ v závislosti na venkovní teplotě a křivky potřebného výkonu objektu v závislosti na venkovní teplotě. Určení bodu bivalence předvedu na TČ vzduch-voda RTC 13e značky Regulus viz [35]. Z technického listu TČ jsou známy hodnoty výkonu v závislosti na venkovní teplotě  $\theta_e$ . Po spočtení tepelných ztrát při různé venkovní výpočtové teplotě a přičtení výkonu nutného k ohřevu TV, vychází výsledná křivka tepelných potřeb RD v závislosti na venkovní výpočtové teplotě (viz graf níže). Průsečík křivek je v bodě o teplotě  $\theta_e = -6$  °C. Při této teplotě se v alternativně bivalentním provozu TČ vypíná a plynový kotel musí pokrýt celý potřebný výkon RD. V režimu paralelně bivalentním je TČ i po dosažení teploty -6 °C v provozu a plynový kotel musí poskytnout výkon odpovídající rozdílu křivek. Graf 1 znázorňuje zmíněné skutečnosti. Z grafu dále lze vyčíst na jaký výkon musí být TČ dimenzováno v bivalentním provozu. Bod bivalence totiž udává také minimální výkon, na který musí být TČ dimenzováno. Z grafu vychází, že pro  $\theta_e = -6$  °C je tepelná potřeba RD cca 5,5 kW. 5,5 kW je právě 76 % z požadovaných 7,2 kW, to je v souladu s teorií dimenzovat TČ vzduch-voda na 70 – 90 % potřebného výkonu pro RD.



Graf 1 – Závislost výkonu na venkovní teplotě pro stanovení bodu bivalence

## 6. ANALÝZA TRHU S TČ

Pro nalezení optimálního řešení dodávky tepla do vybraného RD tepelným čerpadlem jsem oslovil několik společností zabývajících se prodejem a montáží TČ. Nejsnazší je nalézt dodavatele TČ typu vzduch-voda, protože zde odpadá složitá montáž, příjezd těžké techniky, hydrogeologický posudek atp., které jsou spojené s vrtem či plošným kolektorem. Pro toto TČ jsem oslovil 5 společností: Woltair s.r.o.; IVT Tepelná čerpadla s.r.o.; Schlieger s.r.o.; STIEBEL ELTRON spol. s.r.o. a Viessmann spol. s.r.o. Uvedené ceny jsou platné k datu oslovení firem, tedy k 9. 12. 2022.

Společnost	Typové označení TČ vzduch-voda	Cena s DPH	COP při A7/W35	Akustický výkon [dB]
Woltair	Buderus WPLS 4.2 Comfort	256 851 Kč	4,09	65
Woltair	Vaillant aroTHERM plus 55/6	321 700 Kč	4,8	54
IVT Tepelná čerpadla	IVT AIR X70	248 169 Kč	5,31	47
Schlieger	Premium X 11	294 326 Kč	4,2	60
Stiebel eltron	HPA-O 8 CS Plus compact Set 1.1	299 000 Kč	4,76	57
Viessman	VITOCAL 150-A	445 084 Kč	4,9	59

Tabulka 10 – Cenová nabídka oslovených společností (vzduch-voda)

Do výsledné ceny je započítána sestava TČ, příslušenství, montáž, materiál pro montáž, uvedení do provozu, doprava. Co ovšem není do ceny započítáno jsou výkopové práce, zednické práce, terénní úpravy, prostupy skrz zdivo, vyřízení potřebných povolení a revizi elektro. Všechny uvedené TČ disponují reverzním chodem a je jimi tedy možné ochlazovat budovu v období léta. Zároveň jsou všechny schopny ohřívat vodu v otopné soustavě na minimální teplotu 55 °C. Je důležité zmínit, že cenové nabídky jsou spíše orientační, všechny oslovené společnosti vyžadovali pro stanovení konečné cenové nabídky návštěvu kýženého RD. Při rozhodování, jaký typ TČ vybrat není rozhodující jenom cena, ale i technické parametry. Pro porovnání jsem vypsál i topný faktor a provozní hluk vyjádřený akustickým výkonem. Cílem je nalézt nejlevnější TČ s nejvyšším COP a nejnižším akustickým výkonem, a to prioritně v tomto pořadí. Jako nejvýhodnější vychází TČ IVT AIR X70 od společnosti IVT Tepelná čerpadla s.r.o. Tato společnost se také jeví jako nejobornější mezi konkurencí soudě podle množství dokumentace, kterou nabízí ke každému řešení.

Pro zhotovení TČ země-voda jsem oslovil 3 společnosti, a to již zmíněnou IVT Tepelná čerpadla s.r.o.; Tepelná čerpadla Mach s.r.o. a ait-česko s.r.o. (Alpha innotec). Jednotky tohoto typu TČ lze použít jak pro plošný kolektor, tak i pro zemní vrt. Cenová nabídka platí pouze pro instalaci zemního kolektoru. V ceně je zahrnuto, podobně jako v předchozím, samotné zařízení TČ, příslušenství, montáž TČ, materiál pro montáž, uvedení do provozu. Do výsledné ceny nejsou zahrnuty výkopové práce, práce spojená s uložením kolektoru, zednické práce, prostupy skrz zdivo, doprava a vyřízení potřebných povolení. Z uvedených možností vychází výhodně jak TČ od společnosti IVT, tak i od společnosti Alpha innotec.

Společnost	Typové označení TČ země-voda	Cena s DPH	COP při B0/W35
IVT Tepelná čerpadla	IVT Premiumline EQ E 6	283 000 Kč	4,4
Tepelná čerpadla Mach	Chameleon	510 945 Kč	4,3
Alpha innotec	SWC 82H(K)3M	307 821 Kč	4,9

*Tabulka 11 – Cenová nabídka oslovených společností (země-voda)*

Zjištění ceny vyhotovení geotermálního vrtu je závislé na návštěvě odborníka v místě realizace a také na hydrogeologickém posudku, protože cena se odvíjí od půdního podlaží v dané lokalitě, dále pak podle průměru a délky vrtu. Čistě orientačně spočítám cenu vrtu pro délku spočítanou v kapitole 5.2. Celková délka vrtů činí 150 m. Cena vrtu od společnosti Vodovrty s.r.o. vychází na 277 150 Kč s DPH. Cena zahrnuje zhotovení projektové dokumentace včetně hydrogeologického posudku, zajištění stavebního povolení, kolaudace a samotného vrtu o průměru 160 mm. Uvedená cena je minimální možná a nejsou zde započítány dokončovací práce, doprava a napuštění smyčky směsí.

Jednotka TČ Chameleon od společnosti Tepelná čerpadla Mach s.r.o. stojí 318 000 Kč. Tedy koupí jednotky Chameleon a provedením vrtu společností Vodovrty s.r.o. vychází cena TČ dohromady na 642 850 Kč s DPH. Protože je výsledná cena provedení vrtu silně závislá na zhodnocení půdního podlaží a použitého průměru vrtu nebudu dále uvažovat s koupí TČ země-voda vrt.

## 7. ÚSPORA ROČNÍCH NÁKLADŮ NA VYTÁPĚNÍ

Pro zjištění úspor při přechodu z vytápění plynovým kotlem na vytápění TČ je nutné znát celkovou spotřebu plynu na vytápění a el. energie spotřebované na ohřev TV. Tyto údaje jsou obsaženy v ročním vyúčtování neboli na faktuře dodávky plynu a spotřeby el. energie. Dodavatelem plynu i elektřiny je ČEZ Prodej a.s. a využíván je produkt Plyn na 3 roky a Elektřina na 3 roky. Distribuční sazba elektřiny je D25d. Celková spotřebovaná elektřina za období 14. 10. 2021 – 7. 10. 2022 činí 2,561 MWh. Spotřeba plynu za stejné období činí 30,575 MWh. Zavedením TČ lze změnit sazbu na D57d, která disponuje 20 hodinami nízkého tarifu a 4 hodinami. Smlouva na produkt Elektřina na 3 roky je sjednána do 14. 10. 2024, tedy dále bude počítáno se stejnou cenou elektřiny v NT i VT. Dojde pouze ke změně trvání NT a VT podle nové sazby.

Sazba D25d	Průměrná cena za kWh bez DPH	Spotřeba [kWh]	Cena bez DPH	Cena s DPH (21 %)
VT	4,47 Kč	1 969	8 796 Kč	10 643 Kč
NT	2,82 Kč	592	1 668 Kč	2 018 Kč
Položky nezávislé na množství	-	-	2 763 Kč	3 342 Kč
<b>Celkem</b>	-	<b>2 561</b>	<b>10 464 Kč</b>	<b>16 004 Kč</b>

Tabulka 12 - Přehled dosavadní platby a spotřeby elektrické energie

Po přechodu do sazby D56d dojde ke snížení ceny spotřebované elektrické energie vlivem delšího trvání NT. Sazba D25d disponuje 8 hodinami nízkého tarifu. Zatímco D57d 20hodinami NT. Tedy spotřeba v NT pro D57d bude 2,5krát (20/8) větší než v sazbě D25d viz tabulka dole.

Sazba D57d	Průměrná cena za kWh bez DPH	Spotřeba [kWh]	Cena bez DPH	Cena s DPH (21 %)
VT	4,47 Kč	788	3 518 Kč	4 257 Kč
NT	2,82 Kč	1 480	4 170 Kč	5 045 Kč
Položky nezávislé na množství	-	-	2 763 Kč	3 342 Kč
<b>Celkem</b>	-	<b>2 561</b>	<b>7 688 Kč</b>	<b>12 645 Kč</b>

Tabulka 13 – Snížení ceny elektrické energie přechodem na sazbu D57d

Přechodem na sazbu pro tepelná čerpadla se ušetří **3 359 Kč**. Mezi položky nezávislé na množství spadá stálá platba za dodávku, stálá platba za rezervovaný příkon podle jističe, činnost OTE, platba POZE. Do průměrné ceny za kWh je započítána dodávka, distribuce, daň z elektřiny (28,3 Kč/MWh) a podpora systémových služeb.

Plyn	Průměrná jednotková cena bez DPH	Účtované množství [kWh a měsíce]	Cena s DPH
Dodávka plynu	1,02	30 575	37 736 Kč
Položky nezávislé na množství	307,39	12	3 689 Kč
Celkem	-	-	<b>41 424 Kč</b>

Tabulka 14 – Přehled dosavadní platby a spotřeby za plyn

Do položek nezávislých na množství odebíraného plynu patří stálá platba za distribuci a stálá platba za dodávku. Do průměrné jednotkové ceny je zahrnuta spotřeba, distribuce, daň z plynu (v našem případě je 0 %) a činnost OTE.

## 7.1. Úspora přechodem na vytápění TČ

Zásadní úsporou při koupi TČ by měla být výrazně vyšší účinnost TČ oproti plynovému kotli. Velikost těchto úspor lze spočítat při znalosti spotřeby TČ za rok. Spotřebu TČ samozřejmě neznám, ale v technickém listu se běžně objevuje sezónní topný faktor SCOP, který udává účinnost TČ během roku. SCOP je definován podle [36] jako podíl roční potřeby tepla ku roční spotřebě tepla tepelným čerpadlem. Některé technické listy uvádějí pouze sezónní energetickou účinnost  $\eta_s$ , pak je nutné spočítat SCOP ze znalosti  $\eta_s$  podle zmíněné normy [36].

Spotřebu TČ země-voda provedu pouze pro typ IVT Premiumline EQ E6 a SWC 82H(K)3M. Poslední uvažované TČ, Chameleon je příliš drahý, proto s ním dále nebudu uvažovat. V kapitole 4.2.2 je vypočtena roční potřeba tepla, která činí 18 MWh. Podělením roční potřeby tepla sezónním topným faktorem získáme roční spotřebu TČ v MWh. Výpočet ceny za spotřebovanou elektrickou energii tepelným čerpadlem je podmíněn znalostí spotřebované energie v NT a ve VT. Tuto informaci nelze dostatečně dobře zjistit, proto provedu zjednodušení a stanovím, že TČ pracuje pouze v době NT. Zároveň je počítáno s cenami za poslední zúčtovací období, kdy průměrná jednotková cena za kWh činila 2,82 Kč bez DPH. Celková cena za elektrickou energii s DPH je výsledkem součtu ceny spotřebované el. energie ve VT s DPH, dále ceny s DPH za položky nezávislé na množství, a nakonec cenou s DPH za spotřebovanou el. energii v NT (v NT se spotřebovala energie jak na provoz TČ, tak i na svícení, spotřebiče atp.). Pro lepší pochopení postupu výpočtu viz příloha s příponou xls, záložka Úspora energií. TČ bude provozováno v alternativně bivalentním provozu a platí, že TČ všech druhů pokrývají tepelné potřeby z 95 % až 96 %. [37] Zvolím 96 %. Zbylé potřeby tepla obstará turbo kotel s účinností 103 %.

Typ TČ země-voda	96 % roční potřeby tepla [MWh]	SCOP	Roční spotřeba TČ [MWh]	Cena bez DPH	Celková cena za elektrickou energii s DPH
IVT Premiumline EQ E6	17,28	3,5	4,94	13 923 Kč	<b>29 491 Kč</b>
SWC 82H(K)3M		5,1	3,39	9 555 Kč	<b>24 206 Kč</b>

Tabulka 15 – Roční náklady na el. energii s TČ země-voda

TČ země-voda Chameleon od společnosti Tepelná čerpadla Mach nebudu dále analyzovat, jelikož technický list od výrobce neobsahuje SCOP ani jiné parametry, ze kterých lze SCOP vypočítat. Navíc je jeho pořizovací cena skoro dvojnásobná v porovnání se zbylými TČ země-voda, takže lze předpokládat, že nebude vhodným řešením zajištění tepelných potřeb RD.

Typ TČ vzduch-voda	96 % roční potřeby tepla [MWh]	SCOP	Roční spotřeba TČ [MWh]	Cena bez DPH	Celková cena za elektrickou energii s DPH
IVT AIR X70	17,28	5,16	3,35	9 444 Kč	<b>24 072 Kč</b>
Buderus WPLS 4.2 Comfort		3,25	5,32	14 994 Kč	<b>30 787 Kč</b>
HPA-O 8 CS Plus compact Set 1.1		4,5	3,84	10 829 Kč	<b>25 748 Kč</b>
VITOCAL 150-A		3,73	4,64	13 082 Kč	<b>28 474 Kč</b>

Tabulka 16 – Roční náklady na el. energii s TČ vzduch-voda

Absence SCOP v technickém listu TČ Vaillant aroTHERM plus 55/6 a TČ Premium X11 znemožňuje další analýzy těchto TČ, proto nejsou dále uvažovány. Tabulka 17 zobrazuje Celkovou cenu za spotřebovaný plyn, při alternativně bivalentním provozu TČ, kdy plynový kotel zajistí 4 % tepelných potřeb RD během roku.

Plyn	4 % roční potřeby tepla [MWh]	Účinnost	Roční spotřeba plynu [MWh]	Cena bez DPH	Celková cena za plyn s DPH
Turbo kotel	0,72	1,03	0,70	713 Kč	<b>4 551 Kč</b>

Tabulka 17 – Roční náklady za plyn v alternativně bivalentním provozu

Tepelné čerpadlo	Náklady na pokrytí tepelných potřeb RD s DPH		Úspora přechodem na vytápění TČ
	Po realizaci TČ	Před realizací TČ	
IVT Premiumline EQ E6	34 043 Kč	57 428 Kč	<b>23 385 Kč</b>
SWC 82H(K)3M	28 758 Kč		<b>28 670 Kč</b>
IVT AIR X70	28 623 Kč		<b>28 805 Kč</b>
Buderus WPLS 4.2 Comfort	35 339 Kč		<b>22 089 Kč</b>
HPA-O 8 CS Plus compact Set 1.1	30 299 Kč		<b>27 129 Kč</b>
VITOCAL 150-A	33 025 Kč		<b>24 403 Kč</b>

Tabulka 18 – Úspora nákladů na vytápění a přípravu TV realizací TČ



## 8. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ INVESTIC

Nalezení optimální varianty k pokrytí tepelných potřeb RD, lze nalézt pomocí kritérií ekonomické efektivity. Mezi tyto kritéria patří například čistá současná hodnota NPV, doba návratnosti investice PP, RCF, ROI.

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (23)$$

kde

$CF_t$  je cash flow v roce  $t$  [Kč]

$r$  je diskontní sazba

$T$  je počet let

Čistá současná hodnota vyjadřuje současnou hodnotu peněžních toků. Je součtem diskontovaných peněžních toků. Pro nalezení NPV je nutné znát diskontní sazbu, která je definována jako alternativní náklad kapitálu. Neboli je to výnosnost jiné investiční příležitosti, udaná v procentech. Cash flow je suma peněžních toků v daném roce. Běžně se používá k porovnání různých investičních příležitostí se shodným rokem počáteční investice a stejnou dobou trvání. V případě vylučujících se investičních záměrů se realizuje ten s největším NPV.

Dalším ekonomickým kritériem je roční ekvivalentní peněžní tok RCF. Spočte se jako násobek NPV a anuitního faktoru, dosáhne se tím rovnoměrného rozložení diskontovaných peněžních toků do jednotlivých let. Použití je shodně s NPV, ale lze jej navíc použít i pro porovnání investic s různou dobou trvání. Všechny použité jednotky jsou stejné jako ve vzorci (23).

$$RCF = NPV \cdot \frac{(1+r)^T \cdot r}{(1+r)^T - 1} \quad (24)$$

Doba po jejímž uplynutí se příjmy rovnají investičním nákladům se nazývá doba návratnosti investice a je dána podílem investičních nákladů a CF. Musí být samozřejmě nižší, než je doba trvání investice. Rentabilita investic ROI vyjadřuje výnosnost investice v procentech. V případě, že je menší než 0 %, tak investice nepřinese žádný budoucí zisk. V opačném případě pro ROI větší jak 0 % je výnosnost investice právě velikost ROI z investičních nákladů.

$$ROI = \frac{\text{zisk} - |\text{investiční náklady}|}{|\text{investiční náklady}|} \quad (25)$$

Jako oportunitní investice pro stanovení diskontní sazby, je určen Státní dluhopis České republiky s dobou trvání od 2021 do 30. 7. 2037 a s výnosovým procentem 1,95 % p. a. Identifikační číslo ISIN je CZ0001006316. Cash flow je poníženo o průměrnou inflaci 3 %, která je stanovena jako geometrický průměr z měsíčních hodnot mezi lety 2018 až 2022. Data jsou čerpána z [38].

V tabulce níže jsou vypočítány zmíněná ekonomická kritéria všech uvažovaných TČ. Nejzásadnější je velikost NPV, případně RCF. Protože TČ vzduch-voda mají životnost 12 let a TČ země-voda 15 let je nutné porovnat investice podle RCF. Tímto parametrem se ukazuje jako nejvhodnější TČ IVT AIR X70. Ovšem TČ SWC 82H(K)3M stojí jistě za úvahu, protože RCF je pouze o 602 Kč menší. TČ SWC podle PP vychází lépe, svoje investiční náklady pokryje 4 roky před koncem životnosti. TČ IVT naproti tomu pokryje svoje investiční náklady 3 roky před koncem své životnosti. Kritérium ROI nepřináší nic rozhodujícího. Zásadním rozdílem je tedy typ TČ a s tím se pojící životnost. TČ SWC je totiž typu země-voda, kdežto IVT tepelné čerpadlo je typu vzduch-voda.

Na TČ značky Buderus lze vidět, že výnosnost tohoto TČ je nulová a tepelné čerpadlo svým provozem pokryje svojí vlastní počáteční investici za dobu své životnosti. Naproti tomu TČ VITOCAL 150-A pokryje pouze 64 % svých investičních nákladů.

Typ TČ	NPV	RCF	PP	ROI
IVT Premiumline EQ E6	8 428 Kč	653 Kč	13	20 %
SWC 82H(K)3M	49 472 Kč	3 836 Kč	11	35 %
IVT AIR X70	47 075 Kč	4 438 Kč	9	35 %
Buderus WPLS 4.2 Comfort	-30 440 Kč	-2 870 Kč	12	0 %
HPA-O 8 CS Plus compact Set 1.1	-20 935 Kč	-1 973 Kč	11	5 %
VITOCAL 150-A	-194 960 Kč	-18 379 Kč	19	-36 %

*Tabulka 19 – Kritéria ekonomické efektivity*

## 9. ZÁVĚR

Jak je vidět z odstavců výše investice do tepelného čerpadla není levná záležitost, ale vzhledem k vysoké účinnosti TČ může být tato investice výhodná. Některá TČ se svým provozem zaplatí ještě před ukončením své životnosti, navíc uvedenou životností se myslí životnost TČ jako celku, například u TČ země-voda plošný kolektor je životnost plošného kolektoru rozhodně delší než 15 let. Po skončení doby životnosti se většinou nemusí měnit celé TČ, ale pouze třeba některé části jako třeba kompresor či frekvenční měnič.

Zcela zásadní pro správný návrh TČ je znalost tepelných ztrát objektu. Tepelné ztráty jsou spočteny podle uvedené skladby konstrukcí a tomu odpovídajících součinitelů tepelné vodivosti, ovšem uvedené součinitele jsou vzaty z tabelovaných hodnot či z technických listů výrobců to znamená, že součinitele odpovídají materiálům, které jsou maximálně pár let starý. Vybraný objekt, ale stojí již řadu let, a proto lze silně očekávat, že součinitele tepelné vodivosti použitých materiálů budou horší než uvažované. U materiálů použitých ve stěnách či střeše tento vliv času pravděpodobně neudělá příliš veliký rozdíl, ale u oken a dveří tomu bude právě naopak. Jelikož vícevrstvá okna jsou plněna inertním plynem, který z meziskelního prostoru okna časem vyprchá sníží se tak tepelný odpor okna a tím vzrostou i tepelné ztráty. Dalším problémem okna jsou rámy. Rámy oken ve vybraném objektu jsou plastová a plastové rámy se po čase zkroutí čímž dojde k vytvoření netěsností a tím se zase zvýší tepelné ztráty. Bohužel se mi nepodařilo najít způsob, jak upravit součinitel tepelné vodivosti oken, aby odpovídal stáří oken. Podobný problém vzniká také u vchodových dveří.

U tepelných čerpadel využívající teplo z geotermálního vrtu či studniční vody nelze předem stanovit, zdali jsou realizovatelné ve vybraném objektu. Pro tyto typy je nutné vyhotovit především hydrogeologický posudek, až poté lze s těmito typy dále kalkulovat. Hlavním požadavkem TČ země-voda plošný kolektor je dostatek plochy pro uložení kolektoru na přilehlém pozemku. To vybraný objekt splňuje lze tedy s tímto typem dále uvažovat. Tepelné čerpadlo vzduch-voda je bez problémů realizovatelné ve vybraném objektu.

Vytápění teplem čerpadlem je podmíněno změnou sazby elektrické energie na D57d, která disponuje delším trváním NT oproti již zavedené sazbě D25d. Úspora samotnou změnou sazby vychází na 3 359 Kč. Úspora vzniklá vytápěním pomocí TČ v alternativně bivalentním provozu je spočtena za pomoci SCOP daného TČ a u všech uvažovaných TČ vychází v rozmezí 20 až 30 tisíc korun za rok. Výběr nejvhodnější varianty je proveden za pomoci ekonomických kritérií, především podle RCF. Optimálním se jeví TČ IVT AIR X70 (dále v textu zkráceně IVT) a TČ SWC 82H(K)3M (dále v textu zkráceně SWC). RCF u tepelného čerpadla SWC je sice o něco málo menší než u IVT, ale po konci životnosti bude nutné investovat pouze do obměny jednotky TČ, plošný kolektor má výrazně vyšší životnost a zůstane tak zachován. Ceny samotných jednotek TČ vzduch-voda a země-voda jsem v práci neuváděl, ale jsou přibližně stejné. Tedy po skončení životnosti zmíněných TČ, nám zbude funkční plošný kolektor v případě SWC na rozdíl od TČ IVT, kde dojde ke ztrátě celého aktiva. Pro pokrytí potřeb tepla vybraného rodinného domu volím TČ **SWC 82H(K)3M**. Realizací tohoto TČ se ročně ušetří **28 670 Kč**. Samozřejmě při zjednodušení, že cena elektřiny i plynu bude za dobu životnosti konstantní.



## Citovaná literatura

- [1] POČINKOVÁ, Marcela a Lea TREUOVÁ. Stavíme vytápění. 4. aktualiz. vyd. Brno: ERA, 2008. ISBN 978-80-7366-116-8.
- [2] In: LUPTÁK, Ladislav a Lubomír ŠMARDA. Učební text pro obor Instalatér, 2. ročník [online]. Brno: Střední škola polytechnická Brno, 2015 [cit. 2022-10-14]. ISBN 978-80-88058-27-4. Dostupné z: <https://publi.cz/books/176/02.html>.
- [3] DUFKA, Jaroslav. Vytápění domů a bytů. 2. zcela přeprac. vyd. Praha: Grada, 2004. Profi & hobby. ISBN 80-247-0642-3.
- [4] PETRÁŠ, Dušan. Vytápění rodinných a bytových domů. Bratislava: Jaga, 2005. Vytápění. ISBN 80-8076-020-9.
- [5] Flamco Baseflex 25/1,5 expanzní nádoba 6,0 bar. In: Protopeni.cz [online]. Jablonec nad Nisou: TEP Jablonec, 2022 [cit. 2022-10-14]. Dostupné z: <https://www.protopeni.cz/Flamco-Baseflex-25-1-5-expanzni-nadoba-6-0-bar-d842.htm>.
- [6] Základy podlahového vytápění a chlazení. Část 5. Podlahové konvektory. TZB-info.cz [online]. Praha: Topinfo, 2019 [cit. 2022-10-14]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapani/19300-zaklady-podlahoveho-vytapani-a-chlazení-cast-5-podlahove>.
- [7] Kterou trubku zvolit pro vytápění - možné typy, výhody a nevýhody materiálů. In: Buildex.techinfus.com/cs/ [online]. ©2021 [cit. 2022-10-14]. Dostupné z: <https://buildex.techinfus.com/cs/radiatory/trubchatye-batarei-otopleniya.html>.
- [8] Produkty - Otopná desková tělesa. In: Purmo.com/cz/ [online]. Brno: PG Ceska, ©2020 [cit. 2022-10-14]. Dostupné z: <https://www.purmo.com/cz/produkty/otopna-deskova-telesa.htm>.
- [9] ORBIT otopné těleso s bočním připojením 500x650 mm, 319 W, bílá. In: Livero.cz [online]. Rýmařov: MF-Traders stavby, ©2022 [cit. 2022-10-14]. Dostupné z: <https://www.livero.cz/otopna-telesa/orbit-otopne-teleso-s-bocnim-pripojenim-500x650-mm--319-w--bila/>.
- [10] Proč se rozhodnout pro podlahové vytápění?. In: Homebydleni.cz [online]. Praha: Jaga Media, 2015 [cit. 2022-10-14]. Dostupné z: <https://homebydleni.cz/dum/vytapani/proc-se-rozhodnout-pro-podlahove-vytapani/>.
- [11] Teplovzdušné vytápění obytných budov. TZB-info.cz [online]. Praha: Topinfo, 2001 [cit. 2022-10-14]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/teplovzdušne-vytapani/620-teplovzdušne-vytapani-obytnych-budov>.
- [12] Kondenzační kotel: Zjistěte, jak funguje. Plyn.cz [online]. Ústí nad Labem: CENTROPOL ENERGY, 2020 [cit. 2022-10-14]. Dostupné z: <https://www.plyn.cz/kondenzacni-kotel-zjistete-jak-funguje>.
- [13] Ploché solární kolektory. In: Junkersplus.cz [online]. Blšany u Loun: Jiří Folta, [cit. 2022-10-14]. Dostupné z: [https://www.junkersplus.cz/Ploche-solarni-kolektory-c19\\_0\\_1.htm](https://www.junkersplus.cz/Ploche-solarni-kolektory-c19_0_1.htm).
- [14] DUFKA, Jaroslav. Vytápění netradičními zdroji tepla. Praha: BEN - technická literatura,

2003. ISBN 80-7300-079-2.
- [15] BERANOVSKÝ, Jiří a Jan TRUXA. Alternativní energie pro váš dům. Brno: EkoWATT, 2003. 21. století. ISBN 80-86517-59-4.
- [16] Princip tepelného čerpadla. In: Intevotrinec.cz [online]. Třinec: INTEVO Třinec, [cit. 2022-10-14]. Dostupné z: [https://www.intevotrinec.cz/tepelna\\_cerpadla.html](https://www.intevotrinec.cz/tepelna_cerpadla.html).
- [17] Tepelné čerpadlo Vitocal 111-S. In: Reacon.cz [online]. Brno: Reacon corporation, 2019 [cit. 2022-10-14]. Dostupné z: <https://reacon.cz/produkty/tepelne-cerpadlo-vitocal-111-s/>.
- [18] KARLÍK, Robert. Tepelné čerpadlo pro váš dům. Praha: Grada, 2009. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-2720-2.
- [19] Vybíráme tepelné čerpadlo. In: TZB-info.cz [online]. Praha: Topinfo, 2012 [cit. 2022-10-14]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/8295-vybirame-tepelne-cerpadlo>.
- [20] Země/voda - vrt. In: Cerpada-ivt.cz [online]. Praha: IVT Tepelná čerpadla, ©2022 [cit. 2022-10-14]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda-vrt>.
- [21] Proč zvolit tepelné čerpadlo vzduch-voda. In: TZB-info.cz [online]. Praha: Topinfo, 2007 [cit. 2022-10-14]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/4406-proc-zvolit-tepelne-cerpadlo-vzduch-voda>.
- [22] ČSN EN 12831-1. Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu: Část 1 - Tepelný výkon pro vytápění. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018. Třídící znak 060206.
- [23] U - součinitel prostupu tepla. In: Slavona.cz [online]. Slavonice: SLAVONA, ©2022 [cit. 2022-09-29]. Dostupné z: <https://www.slavona.cz/slovník-pojmu/u-soucinitel-prostupu-tepla.html>.
- [24] ČSN EN ISO 6946. Stavební prvky a stavební konstrukce: Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtové metody. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2020. Třídící znak 730558.
- [25] ČSN EN ISO 10456. Stavební materiály a výrobky - Tepelně vlhkostní vlastnosti: Tabeľované návrhové hodnoty a postupy pro stanovení deklarovaných a návrhových tepelných hodnot. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2009. Třídící znak: 730574.
- [26] ČSN 73 0540-3. Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2005. Třídící znak 730540.
- [27] ČSN EN ISO 13370. Tepelné chování budov - Přenos tepla zeminou - Výpočtové metody. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2019. Třídící znak: 730559.
- [28] ČSN EN 15665-Z1. Větrání budov - Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2011. Třídící znak: 127021.
- [29] Výpočet prostupu tepla vícevrstvou konstrukcí a průběhu teplot v konstrukci. TZB-info.cz [online]. Praha: Topinfo, ©2023 [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocety/140-vypocet-prostupu-tepla-vicevrstvou-konstrukci-a-prubeh>.
- [30] Projekční podklady a pomůcky - Tepelná bilance objektu - denostupňová metoda. Katedra

- technických zařízení budov K11125 [online]. Praha: Fsv ČVUT, ©2023 [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/?mod=podklady&id=1>.
- [31] PRVKZK vodovody. Geoportal.kr-zlinsky.cz [online]. Zlín: Krajský úřad Zlínského kraje, ©2022 [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: [https://geoportal.kr-zlinsky.cz/prvkuk\\_v/](https://geoportal.kr-zlinsky.cz/prvkuk_v/).
- [32] PRVKZK kanalizace. Geoportal.kr-zlinsky.cz [online]. Zlín: Krajský úřad Zlínského kraje, ©2022 [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: [https://geoportal.kr-zlinsky.cz/prvkuk\\_k/](https://geoportal.kr-zlinsky.cz/prvkuk_k/).
- [33] Půdní mapy. Mzp.cz [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, ©2022 [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/pudni\\_mapy](https://www.mzp.cz/cz/pudni_mapy).
- [34] ČSN EN 15450: Tepelné soustavy v budovách - Navrhování tepelných soustav s tepelnými čerpadly. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2011. Třídící znak: 060404.
- [35] Tepelné čerpadlo RTC 13e. Regulus.cz [online]. Praha: REGULUS, ©2023 [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: <https://www.regulus.cz/cz/tepelne-čerpadlo-rtc-13e>.
- [36] ČSN EN 14825: Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla, s elektricky poháněnými kompresory, pro ohřívání a chlazení prostoru - Zkoušení a hodnocení při podmínkách s částečným zatížením a výpočet sezonní výkonnosti, Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2020. Třídící znak: 143011.
- [37] LINHARTOVÁ, Ing. Vladimíra. Výpočet potřeby elektrické energie v otopné soustavě s tepelným čerpadlem vzduch-voda. TZB-info.cz [online]. Praha: Topinfo, 2015 [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/12941-vypocet-potreb>.
- [38] Inflace - druhy, definice, tabulky. Czso.cz [online]. Praha: Český statistický úřad, 2022 [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/csu/czso/mira\\_inflace](https://www.czso.cz/csu/czso/mira_inflace).

## Seznam použitých zkratk

<b>Význam</b>	<b>Zkratka</b>
Tepelné čerpadlo	TČ
Otopná soustava	OS
Rodinný dům	RD
Teplá voda	TV
Topný faktor	COP
Sezónní topný faktor	SCOP
Solární kolektor	SK
Nízký tarif	NT
Vysoký tarif	VT

Daň z přidané hodnoty	DPH
Čistá současná hodnota	NPV
Roční ekvivalentní peněžní tok	RCF
Doba splacení	PP
Výnosnost investice	ROI
Mezinárodní identifikační číslo cenného papíru	ISIN

## Seznam tabulek

Tabulka 1 – Konvenční odpory při přestupu tepla [24].....	26
Tabulka 2 – Vnitřní výpočtové teploty místností objektu s pokladní vrstvou.....	32
Tabulka 3 – Skladba konstrukcí, část 1.....	33
Tabulka 4 – Skladba konstrukcí, část 2.....	34
Tabulka 5 – Součinitel prostupu tepla jednotlivých stavebních konstrukcí.....	35
Tabulka 6 – Tepelné ztráty po místnostech.....	36
Tabulka 7 – Potřeby tepla pro zvolený RD.....	38
Tabulka 8 – Měrný výkon získaný z plošného kolektoru [34].....	40
Tabulka 9 – Přehled plochy kolektoru v závislosti na měrném výkonu TČ a potřebném výkonu.....	40
Tabulka 10 – Cenová nabídka oslovených společností (vzduch-voda).....	44
Tabulka 11 – Cenová nabídka oslovených společností (země-voda).....	45
Tabulka 12 - Přehled dosavadní platby a spotřeby elektrické energie.....	46
Tabulka 13 – Snížení ceny elektrické energie přechodem na sazbu D57d.....	46
Tabulka 14 – Přehled dosavadní platby a spotřeby za plyn.....	47
Tabulka 15 – Roční náklady na el. energii s TČ země-voda.....	47
Tabulka 16 – Roční náklady na el. energii s TČ vzduch-voda.....	48
Tabulka 17 – Roční náklady za plyn v alternativně bivalentním provozu.....	48
Tabulka 18 – Úspora nákladů na vytápění a přípravu TV realizací TČ.....	48
Tabulka 19 – Kritéria ekonomické efektivity.....	50

## Seznam obrázků

Obrázek 1 – Otopná soustava [2].....	14
Obrázek 2 – Řez expanzní nádobou [5].....	15
Obrázek 3 – Otopná tělesa, zleva článkové [7], deskové [8], trubkové [9].....	16
Obrázek 4 – Podlahové vytápění [10].....	16
Obrázek 5 – Řez solárním kolektorem [13].....	17
Obrázek 6 – Schéma tepelného čerpadla.....	18
Obrázek 7 – Zjednodušený princip TČ [16].....	19
Obrázek 8 – Venkovní jednotka TČ vzduch-voda [17].....	19
Obrázek 9 – TČ země-voda plošný kolektor [19].....	20
Obrázek 10 – TČ země-voda hlubinný kolektor [20].....	20
Obrázek 11 – TČ vzduch-voda [21].....	21
Obrázek 12 – TČ voda-voda (studniční voda) [19].....	21



Obrázek 13 – Hlavní kroky výpočtu celkových tepelných ztrát.....	29
Obrázek 14 – Půdorys suterénu .....	30
Obrázek 15 – Půdorys přízemí.....	31
Obrázek 16 – Půdorys I. NP .....	31

## Seznam grafů

Graf 1 – Závislost výkonu na venkovní teplotě pro stanovení bodu bivalence.....	43
---	----

## Seznam příloh

Vypocty\_BP\_Schier.xlsx