

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
katedra elektroenergetiky

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: Viktor Masopust

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management  
Obor: Aplikovaná elektrotechnika

Název tématu: Připojení a dimenzování tepelného čerpadla k zadanému objektu

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s výpočtem tepelných ztrát objektů.
2. Seznamte se s funkcí tepelného čerpadla.
3. Navrhňte tepelné čerpadlo k zadanému objektu.
4. Řešení ekonomicky zhodnoťte.

Seznam odborné literatury:

- [1] ČSN EN ISO 13790. Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení. Gorazdova 24, 128 01 Praha 2: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009
- [2] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. Tepelná čerpadla. 2., aktualiz. vyd. Brno: ERA, 2007, 68 s. 21. století. ISBN 978-80-7366-089-5.
- [3] [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz)

Vedoucí: Ing. Lubomír Musálek

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2017/2018

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D.  
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
děkan



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

Fakulta elektrotechnická  
Katedra elektroenergetiky

**Připojení a dimenzování tepelného čerpadla k zadanému objektu**

**Connections and dimensioning of the heat pump to a given building**

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management  
Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika

Vedoucí práce: Musálek Lubomír Ing.

**Viktor Masopust**

---

Praha 2016



## Čestné 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.



## Poděkování

Tímto děkuji všem, kteří mi pomáhali svými znalostmi a zkušenostmi s touto bakalářskou prací. Jmenovitě pak děkuji vedoucímu mé práce Ing. Lubomíru Musálkovi.



## Anotace

Cílem této práce je seznámit se základními výpočty tepelných ztrát budov. Přiblížit princip funkce tepelných čerpadel a zužitkování nízkopotenciální energie. Praktickou částí této práce je navrhnout a dimenzovat tepelné čerpadlo pro zadaný objekt. Dále provést ekonomické zhodnocení návrhu zapojení tepelného čerpadla do objektu.

## Annotation

The aim of this thesis is to introduce the basic calculations of heat losses in buildings and to describe the principle of heat pumps and the utilization of low potential energy. The practical part of this thesis is to design and size the heat pump for the specified object. Additionally to perform an economic evaluation of the proposal involvement of the heat pump to the building.



## Obsah

1. Úvod.....	6
1.1. Cíl práce.....	6
1.2. Vytápění a příprava TUV .....	7
1.3. Tepelná pohoda .....	8
2. Tepelné ztráty.....	11
2.1. Úvod do problematiky a legislativa.....	11
2.2. Tepelné ztráty.....	11
2.3. Výpočet dle ČSN EN 12831 [8].....	13
3. Tepelné čerpadlo .....	19
3.1. Úvod.....	19
3.2. Princip tepelného čerpadla .....	20
3.3. Druhy tepelných čerpadel .....	26
3.4. Připojení a provoz .....	29
4. Návrh pro objekt.....	35
4.1. Objekt.....	35
4.2. Tepelné ztráty objektu.....	36
4.3. Výběr a dimenzování tepelného čerpadla .....	37
4.4. Matematický model .....	41
5. Ekonomické zhodnocení .....	46
5.1. Úvod do ekonomického vyhodnocování.....	46
5.2. Zhodnocení.....	47
6. Závěr.....	49
7. Použité zdroje.....	50
8. Seznam tabulek .....	51
9. Seznam obrázků .....	51
10. Seznam příloh .....	52



# 1. Úvod

## 1.1. Cíl práce

Práce řeší instalaci tepelného čerpadla do otopného systému rodinného domu, za účelem optimalizace vytápění a snížení nákladů na vytápění. Práce je rozdělena do pěti částí. První tři jsou teoretické pro seznámení se s danou problematikou, která je potřebná pro výpočty konkrétního případu, zbylé dvě řeší instalaci v konkrétním objektu. Dále jsou tyto části popsány tematicky.

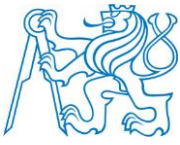
V první části se věnuji teoretickému úvodu do světa vytápění budov tepelné pohody a přípravy teplé užitkové vody, kde je nastíněna problematika tepla v obytných budovách.

V druhé části se budu zabývat tepelnými ztrátami budov, jejich druhy a především osvětlím výpočty tepelných ztrát obytných budov.

Ve třetí části principiálně popíšu tepelné čerpadlo a úskalí s tím spojené. Dále popíšu různé typy tepelných čerpadel podle způsobu získávání nízkopotenciální energie, vysvětlím různé výhody a nevýhody těchto technologií a jejich provoz.

Ve čtvrté části představím konkrétní objekt: Budou popsány základní parametry, umístění a všechny důležité informace s tím spojené. Dále budou vypočteny tepelné ztráty této budovy, které jsou potřebné k dalším výpočtům pro návrh tepelného čerpadla. V této kapitole se také budu zabývat výběrem a dimenzováním tepelného čerpadla do daného objektu a nakonec vypočtu celkovou spotřebu tepla pro vytápění.

Ve finální části ekonomicky zhodnotím návrh připojení tepelného čerpadla a porovnáím ho s předchozí variantou vytápění.



## **1.2. Vytápění a příprava TUV**

### **1.2.1. Faktory pro vytápění domácnosti**

V dnešní době je považováno za samozřejmost mít ve svém domově teplo, světlo a elektřinu. Jsme tedy závislí na dodávce energie, protože všechny tyto potřeby souvisí právě s energií, která je nejběžněji dodávána ve formě elektrické energie. Tedy světlo a elektřina jsou závislé pouze na dodávce elektrické energie. Mluvíme-li o teple, je zde více možností, jak zajistit vytápění a přípravu teplé užitkové vody. Možnost je samozřejmě také elektrickou energií při použití například bojleru nebo elektrokotle. Dále můžeme použít například energii ukrytou v plynu, tuto energii využívá plynový kotel, který je dalším častým zdrojem tepla. Nyní následuje rozhodnutí: který vytápěcí zdroj bude výhodnější, bude-li vůbec zapotřebí odběr plynu do našeho domova, nebo můžeme snad využít jiný zdroj tepla? Výběr zdroje tepla pro vytápění a přípravu teplé užitkové vody je první důležitý krok při návrhu vytápění budovy.

V dnešní době dochází k velmi významnému zdražování energií všech různých forem, což je způsobené ve značné míře snižováním zásob neobnovitelných zdrojů. V důsledku toho vzniká snaha využít obnovitelných zdrojů a to jak ve sféře výroby elektrické energie, tak ve výrobě tepla. Zde se mohou uplatnit tepelná čerpadla, která mohou být výhodnější z hlediska spotřeby elektrické energie, ale na druhou stranu mohou být velmi nákladná a z důvodu jejich nízké životnosti se vyplatit nemusí. Více budou popsány v následujících kapitolách.

Z hlediska nízkých nákladů na vytápění, není jediným faktorem cena a efektivnost přeměny jiné energie na teplo. Důležitým faktorem je také schopnost využít a šetřit tepelnou energii v plném rozsahu. Mezi hlavní metody šetření tepelné energie patří důkladné zateplení budovy, tedy snížení tepelných ztrát budov. Dále je důležité zvolit a navrhnout vhodný otopný systém, který zajistí efektivní rozvod tepla. A v neposlední řadě systém, který zajistí kvalitní výměnu vzduchu při minimálních tepelných ztrátách větráním. Větrací a klimatizační zařízení mohou být doplněny výměníky tepla, ty získávají energii z odpadního tepla, a tím redukuje množství energie potřebné k chodu těchto zařízení. Tím se také sníží provozní náklady na větrání a klimatizaci.





## 1.2.2. Příprava teplé užitkové vody

Pro přípravu teplé užitkové vody slouží ohřívače pitné vody, bojlerů či přímo průtokové kotle. TUV – je označení pro teplou užitkovou vodu, tato voda je neškodná pro zdraví lidí, ale neměla by se používat na pití nebo vaření. Jedná se o užitkovou vodu, která byla ohřata pro dané účely. Označení TUV je nevhodné, protože užitková voda, definována v příslušných normách má jiné kvalitativní parametry než ohřátá pitná voda. V takto ohřáté vodě se mohou množit bakterie, které sice nejsou zdravotně nebezpečné, ale mohou nepříznivě ovlivňovat chuť a pach vody. Požadavky na vlastnosti teplé vody jsou tedy dané jejím účelem.

Při dimenzování potrubí vnitřního vodovodu je potřeba vycházet z výpočtových průtoků, průtočných rychlostí a tlakových ztrát v potrubí i v zařízení. Zjednodušenou metodu výpočtů představuje norma ČSN EN 806-3. Tato metoda lze využít pouze u běžných instalací vodovodního potrubí. Podle této normy není možné dimenzovat potrubí požárního vodovodu a cirkulační potrubí teplé vody. Zároveň s touto evropskou normou u nás platí nová národní norma ČSN 75 5455 "Výpočet vnitřních vodovodů".

## 1.3. Tepelná pohoda

### 1.3.1. Produkce tepla člověkem

Tepelnou pohodou se rozumí stav prostředí (místností s různými druhy vytápění), kdy je člověku odebráno právě tolik tepla, kolik člověk vyprodukuje bez výrazného mokrého pocení. Mokrý pocení je stav, kdy nedochází k dostatečnému odpařování vypocené tekutiny z pokožky člověka.

Lidské tělo je nepřetržitým zdrojem tepla, aby nedocházelo ke změnám tělesné teploty, musí se teplo odvést z těla do okolí. Teplota uvnitř lidského těla bývá kolem 37 °C, dále teplota pokožky se pohybuje 31 až 34 °C, podle teploty okolí a druhu oblečení (tepelné izolace) a prokrvení. Například teplota pokožky končetin může být až o 5 °C nižší než teplota hlavy či trupu. Teplo se neustále dopravuje z vnitřních tkání k povrchu kůže, odkud je dále odváděno do okolí sáláním, vedením, konvekcí a vypařováním. Produkce tepla v těle se nazývá metabolická tepelná produkce, jelikož jí produkuje metabolismus. A to jednak na základě bazálního metabolismu, který vytváří teplo v důsledku biologických procesů a to konkrétně například spalování pohonného paliva (potravy). Dále díky svalovému metabolismu, kde teplota roste s náročností činností.



### 1.3.2. Činitele ovlivňující tepelnou pohodu

Tepelná pohoda závisí na následujících činitelích:

- *Činnost*

V následující tabulce jsou orientační hodnoty metabolismu při různých činnostech. Hodnoty jsou vyjádřeny jako tepelný výkon ( $W$ ), měrný výkon ( $W \cdot m^{-2}$ ) a speciální jednotkou pro tepelnou pohodu ( $met$ ), přičemž  $1 \text{ met} = 58,2 \text{ W} \cdot m^{-2}$ . Jako průměrnou plochu lidského těla je považováno  $1,72 \text{ m}^2$ . Pro tuto plochu  $1 \text{ met} = 100 \text{ W}$ .

Činnost	W	W.m <sup>-2</sup>	met
Spaní	70	40	0,7
Odpočívání, ležení na posteli	80	46	0,8
Sezení, odpočívání	100	58	1
Stání, práce v sedě	120	70	1,2
Velmi lehká práce (učitel, nakupování, vaření)	160	93	1,6
Lehká práce (domácí práce, práce s přístroji)	200	116	2
Středně těžká práce (tanec)	300	175	3
Těžká práce (tenis)	600	350	6
Velmi těžká práce (squash, práce v hutích)	700	410	7

**Tab. 1. Hodnoty metabolismu**

- *Vnitřní teplota okolního vzduchu*

Nejbližší médium, se kterým si tělo vyměňuje teplo. Regulace teploty v obytných budovách se nastaví pomocí termostatu. Doporučená teplota v místnostech pro tepelnou pohodu a zároveň nízké náklady je uvedena v následující tabulce.

obytné místnosti	20 – 22 °C
ložnice	18 - 20 °C
kuchyně	18 - 20 °C
koupelna	22 - 24 °C
chodba, schodiště	15 - 18 °C

**Tab. 2. Doporučená teplota v místnostech**



#### - *Teplota okolních ploch*

Teplota okolních ploch je myšlená společná teplota stěn a předmětů obklopujících člověka, při které se sáláním sdílí stejné teplo jako ve skutečnosti. Tato teplota závisí na vzájemné poloze člověka a sálajících stěn, na barvě stěn, na ploše těla a plochy stěn.

#### - *Proudění vzduchu*

Rychlost vzduchu ovlivňuje přenos tepla prouděním a rychlost odpařování vlhkosti z pokožky. To však může způsobit i pocit průvanu.

#### - *Vlhkost*

Vlhkost vzduchu závisí na množství vodních par, obsažených ve vzduchu. Nejčastěji se vyjadřuje jako relativní vlhkost, která udává poměr množství těchto par k celkovému množství vzduchu a vyjádřena je v procentech. Tato vlhkost se měří vlhkoměrem a v obytných místnostech by měla být relativní vlhkost v rozmezí 30 - 70 %. Při nižších vlhkostech se zvyšuje odpařování z povrchu našeho těla, které se tím ochlazuje. Při vyšších relativních vlhkostech je naopak odpařování vody z těla omezeno nasyceností okolního vzduchu. Ohříváním vzduchu v místnosti se relativní vlhkost snižuje, proto je vhodné zvýšit vlhkost vypařováním vody z odpařovače. Při ochlazení vzduchu například vyvětráním místnosti se naopak relativní vlhkost zvýší.

#### - *Oblečení*

Ovlivňuje odvod tepla z lidského těla do okolí. Slouží jako izolace. Pro studium tepelné pohody byla zavedena jednotka 1 clo, která odpovídá tepelnému odporu  $R_{th} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ . 1 clo je izolační hodnota pro pánský oblek s bavlněným spodním prádlem. Izolační hodnota pro letní oblečení může být nižší než 0,5 clo, kdežto zimní oblečení se pohybuje přibližně v rozmezí 2,5 až 3,5 clo.

#### - *Další činitelé*

Aklimatizace metabolismu – Hodnotu metabolismu ovlivňuje také aklimatizace člověka v prostředí a to jak v prostředí o různé teplotě, tak například v zaměstnání. Jako příklad poslouží Sibiřský vědec a jižanský zemědělec. Stáří také souvisí s tepelnou náročností člověka, starší lidé mají užší rozsah této náročnosti. Hmotnost a množství podkožního tuku je také nezanedbatelným činitelem ovlivňující tepelnou pohodu. Podkožní tuk slouží jako izolant. S rostoucí hmotou člověka roste produkce tepla, ale tepelné ztráty souvisí s plochou těla.



## 2. Tepelné ztráty

### 2.1. Úvod do problematiky a legislativa

Tepelný výkon vytápěcích zařízení musí být navržen tak, aby v místnostech byla zajištěna tepelná pohoda i při nejnepříznivějších podmínkách. Jako nejnepříznivější podmínky se uvažuje nejnižší venkovní teplota v zimním období pro danou lokalitu. Tento výkon lze určit na základě tepelných ztrát budovy. Evropská norma ČSN EN 12831 upravuje postup pro výpočet těchto ztrát. Do roku 2008 platila zjednodušená metoda výpočtu dle národní normy ČSN 06 0210. Tento postup výpočtu stále může sloužit pro rychlé orientační určení tepelných ztrát objektu. Avšak neuvažuje například s tepelnými mosty. Ty mají stále větší vliv na tepelnou ztrátu, díky neustálému pokroku v tepelně technických vlastnostech stavebních konstrukcích. Od roku 2009 Platí mezinárodní norma, která byla harmonizována CEN i UNSM. Jedná se o normu ČSN EN ISO 13790 „Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení“. Tato norma upravuje postupy přímo pro výpočet potřeby energie na vytápění, při pokrytí tepelných ztrát a zisků.

### 2.2. Tepelné ztráty

#### 2.2.1. Základní pojmy

##### - *Tepelná ztráta*

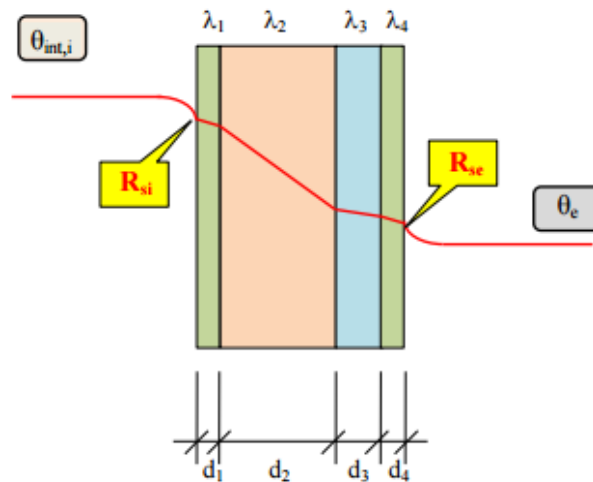
Tepelná ztráta vytápěného prostoru je vždy rovna součtu všech ztrát. Tedy ztráty prostupem tepla a větráním. Tepelná ztráta prostupem tepla je množství tepla, které prochází konstrukcí v důsledku rozdílu teplot na stranách konstrukce. Tepelná ztráta prostupem místnosti se skládá ze ztrát všech zdí, ze ztráty podlahou, stropem, případně střechou. Velikost ztráty je dána plochou, kterou prochází teplo, součinitelem prostupu tepla a rozdílem teplot na vnitřní a vnější straně konstrukce. Tepelná ztráta větráním je způsobena nutností zajistit zdravou výměnu vzduchu, aby bylo zabráněno nahromadění škodlivých látek ve vzduchu. Díky výpočtu tepelné ztráty lze navrhnout a dimenzovat zdroj tepla pro vytápění.

##### - *Součinitel prostupu tepla*

Určuje celkovou výměnu tepla stavební konstrukce. S rostoucím součinitelem tepla klesá kvalita konstrukce z hlediska izolace a zateplení. Hodnota součinitele je závislá na vlastnostech materiálu konstrukce a na tloušťce dané konstrukce. Jedná se o převrácenou hodnotu tepelného odporu.

$$U = \frac{1}{R_{th}} \quad (1.1)$$

Kde  $U$  [W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>]                      Součinitel prostupu tepla;  
 $R_{th}$  [m<sup>2</sup>.K.W<sup>-1</sup>]                      Tepelný odpor konstrukce;



Obr. 1. Prostup tepla konstrukcí [9]

$$R_{th} = R_{se} + R_{si} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} \quad (1.2)$$

Kde	$R_{se}$ [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ]	Tepelný odporu přestupu tepla na vnější straně;
	$R_{si}$ [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ]	Tepelný odporu přestupu tepla na vnitřní straně;
	$d_i$ [m]	Tloušťka vrstvy konstrukce;
	$\lambda_i$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	Součinitel tepelné vodivosti materiálu;

Takto vypočtený součinitel prostupu tepla zohledňuje pouze homogenní plochu, ale nezohledňuje takzvané tepelné mosty. Lineární součinitel prostupu tepla je definován v ČSN EN ISO 14683. Tato norma pojednává také o zjednodušených metodách zahrnujících i tepelné mosty.

#### - Tepelné mosty

Tepelný most je místo v konstrukci, ve kterém dochází k přímému spojení interiéru s vnějším prostředím. V tomto místě je tepelný tok výrazně větší než v blízkém okolí. Se stále zlepšující se technologií stavebních materiálů a konstrukcí, se čím dál tím více uplatní ztráty prostupem u tepelných mostů. Dříve se pouze k součiniteli prostupu tepla přičetlo 10 % reprezentujících právě tepelné mosty. Dnes jejich vliv může být až 28 % z celkových ztrát. Tedy při zanedbání tepelných mostů, může docházet k výrazným chybám. V místě tepelného mostu je stěna v interiéru výrazně chladnější. Tato teplota by neměla být nižší než 12,5 °C, jinak může hrozit růst plísní v této oblasti konstrukce. Určovat tato místa lze pomocí termografické kamery. Současné normy již obvykle zahrnují výpočty s lineárními tepelnými mosty oproti nedávné normě ČSN 06 0210.



## 2.3. Výpočet dle ČSN EN 12831 [8]

Před vlastním provedením výpočtů je nutné nejdříve shromáždit základní údaje důležité pro tyto výpočty. Dále jsou vypsány v bodech:

- Venkovní výpočtová, tedy nejnižší teplota, která může v dané lokalitě nastat;
- Průměrná roční venkovní teplota v dané lokalitě;
- Určení prostorů, zda bude obytná část vytápěna či nikoli;
- Rozměry a tepelné vlastnosti konstrukce;
- Vnitřní výpočtové teploty vytápěných i nevytápěných místností;

Celkové tepelné ztráty vytápěného prostoru se vypočítají ze vztahu:

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad (1.3)$$

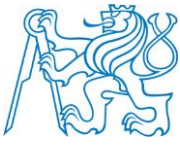
Kde	$\Phi_i$ [W]	Celková tepelná ztráta;
	$\Phi_{T,i}$ [W]	Tepelná ztráta prostupem;
	$\Phi_{V,i}$ [W]	Tepelná ztráta větráním;

### 2.3.1. Tepelné ztráty prostupem

Tepelná ztráta prostupem se určí součtem 4 dílčích ztrát.

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) * (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (1.4)$$

Kde	$\Phi_{T,i}$ [W]	Tepelná ztráta prostupem;
	$H_{T,ie}$ [W/K]	Měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí pláštěm budovy;
	$H_{T,iue}$ [W/K]	Měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí nevytápěným prostorem;
	$H_{T,ig}$ [W/K]	Měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěného prostoru do zeminy;
	$H_{T,ij}$ [W/K]	Měrná tepelná ztráta prostupem z vytápěného prostoru do sousedního prostoru, který je vytápěn na výrazně odlišnou teplotu;
	$\theta_{int,i}$ [°C]	Vnitřní výpočtová teplota pro vytápěný prostor;
	$\theta_e$ [°C]	Venkovní výpočtová teplota pro danou lokalitu;



### 2.3.2. Měrná tepelná ztráta $H_{T,ie}$ [W/K]

Tento výpočet je platný pro všechny stavební konstrukce oddělující vnitřní vytápěný prostor od venkovního prostředí.

$$H_{T,ie} = \sum_k (A_k * U_k * e_k) + \sum_l (\Psi_l * l_l * e_l) \quad (1.5)$$

Kde	$A_k$ [m <sup>2</sup> ]	Plocha konstrukce budovy;
	$U_k$ [W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	Součinitel prostupu tepla konstrukce budovy;
	$e_k, e_l$ [-]	Korekční činitele zahrnující nasákavost, klimatické vlivy apod.;
	$\Psi_l$ [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	Lineární činitel prostupu tepla tepelného mostu;
	$l_l$ [m]	Délka lineárního tepelného mostu;

$U_k$  se určí dle ČSN EN ISO 6946, pro okna a dveře dle normy ČSN EN ISO 10077-1. Korekční činitele se určí pouze tehdy, jestliže nebyly uvažovány při určení  $U_k$ , jinak jsou vždy rovny 1.  $\Psi_l$  se stanoví dle tabulek normy ČSN EN ISO 14683 nebo se vypočtou podle ČSN EN ISO 10211-2. Zjednodušená metoda pro započítání tepelných mostů spočívá v navýšení  $U_k$  o přírůstek daný tepelnými mosty  $\Delta U_{tb}$ .

$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{tb} \quad (1.6)$$

Kde	$U_{kc}$ [W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	Nahrazený součinitel prostupu tepla konstrukce budovy;
	$\Delta U_{tb}$ [W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	Přírůstek daný tepelnými mosty, je možné určit podle normy ČSN EN ISO 730540-4;

### 2.3.3. Měrná tepelná ztráta $H_{T,iue}$ [W/K]

Tento výpočet je platný pro stavební konstrukci sousedící s nevytápěným prostorem.

$$H_{T,iue} = \sum_k (A_k * U_k * b_u) + \sum_l (\Psi_l * l_l * b_u) \quad (1.7)$$

Kde	$b_u$ [-]	Redukční činitel teploty zahrnující rozdíl teplot;
-----	-----------	--

Tento činitel lze vypočítat třemi různými způsoby: Jestliže známe teplotu nevytápěného prostoru, použije se vztah (1.8). Pokud není známa tato teplota, použije se vztah (1.9). Nebo se určí dle normy ČSN EN 12831.

$$b_u = \frac{\theta_{int,i} - \theta_u}{\theta_{int,i} - \theta_e} = \frac{H_{ue}}{H_{iu} - H_{ue}} \quad (1.8)$$

Kde	$\theta_u$ [°C]	Teplota nevytápěného prostoru;
	$H_{iu}$ [W.K <sup>-1</sup> ]	Měrná tepelná ztráta z vytápěného do nevytápěného prostoru;
	$H_{ue}$ [W.K <sup>-1</sup> ]	Měrná tepelná ztráta z nevytápěného prostoru do exteriéru;



### 2.3.4. Měrná tepelná ztráta $H_{T,ig}$ [W/K]

Vyjadřuje tok tepla přes podlahu do zeminy.

$$H_{T,ig} = f_{g1} * f_{g2} * (\sum_k A_k * U_{equiv,k}) * G_w \quad (1.9)$$

Kde	$f_{g1}$ [-]	Korekční činitel, který zohledňuje vliv ročních změn venkovní teploty, obvykle 1,45;
	$f_{g2}$ [-]	Teplotní redukční činitel, který zohledňuje rozdíl mezi roční průměrnou teplotou a výpočtovou venkovní teplotou;
	$U_{equiv,k}$ [W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	Ekvivalentní součinitel prostupu tepla;
	$G_w$ [-]	Korekční člen zahrnující vliv podzemní vody. Hodnota je vypočtena podle EN ISO 13370 nebo $G_w = 1$ pokud je hladina vody vzdálena více jak 1 m pod podlahou, jinak je $G_w = 1,15$ .

Teplotní redukční činitel se vypočte podle:

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (1.10)$$

Kde  $\theta_{m,e}$  [°C] Průměrná roční venkovní teplota pro danou lokalitu;

Hodnoty ekvivalentního součinitele prostupu tepla lze určit dle normy EN ISO 13370 jako funkci parametru B.

$$B = \frac{A_g}{0,5 * P} \quad (1.11)$$

Kde B [-] Charakteristický parametr;  
 $A_g$  [m<sup>2</sup>] Plocha podlahové konstrukce budovy;  
P [m] Obvod podlahové konstrukce budovy;

### 2.3.5. Měrná tepelná ztráta $H_{T,ij}$ [W/K]

Vyjadřuje tepelný tok mezi dvěma prostory vytápěnými na různé teploty.

$$H_{T,ij} = \sum_k (b_{i,j} * A_k * U_k) \quad (1.12)$$

Kde  $b_{i,j}$  [-] Redukční teplotní činitel, který zahrnuje rozdíl mezi teplotami v místnostech;

$$b_{i,j} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_j}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (1.13)$$

Kde  $\theta_j$  [°C] Teplota sousedního vytápěného prostoru;





### 2.3.6. Tepelné ztráty větráním

Ztráta větráním je opět přímo úměrná rozdílu vnitřní výpočtové teploty a venkovní výpočtové teploty.

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} * (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (1.14)$$

Kde  $\Phi_{V,i}$  [W] Tepelná ztráta větráním;  
 $H_{V,i}$  [W/K] Měrná tepelná ztráta větráním;

### 2.3.7. Měrná tepelná ztráta větráním $H_{V,i}$ [W/K]

Závisí především na objemovém toku vzduchu vytápěné místnosti.

$$H_{V,i} = \dot{V}_i * \rho * c \quad (1.15)$$

Kde  $\dot{V}_i$  [m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>] Objemový tok výměny vzduchu vytápěného prostoru;  
 $\rho$  [kg.m<sup>-3</sup>] Hustota vzduchu, při 100 Pa a 10° C,  $\rho = 1.230$  kg.m<sup>-3</sup>;  
 $c$  [kJ.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>] Měrná tepelná kapacita vzduchu, při 100 Pa a 10 °C,  
 $c = 1,005$  kJ.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>;

Obvykle se podle normy nahrazuje součin  $\rho.c = 1224$  při uvažování  $\dot{V}_i$  [m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>] a  $\rho.c = 0,34$  při uvažování  $\dot{V}_i$  [m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>]. Hodnota výměny vzduchu závisí na typu větrání ve vytápěném prostoru. V tomto smyslu rozdělujeme větrání na přirozené a nucené.

#### - Přirozené větrání

Vzduch, který je přiváděn do místnosti má tepelné vlastnosti venkovního vzduchu. Hodnota objemového toku výměny vzduchu se stanoví z maximální hodnoty  $\dot{V}_{inf,i}$  a  $\dot{V}_{min,i}$ . Tedy Větší z těchto dvou objemových toků vzduchu.

$$\dot{V}_i = \max(\dot{V}_{inf,i}, \dot{V}_{min,i}) \quad (1.16)$$

Kde  $\dot{V}_{inf,i}$  [m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>] Objemový tok infiltrovaného vzduchu přes obálku budovy;  
 $\dot{V}_{min,i}$  [m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>] Objemový tok minimální výměny vzduchu z hlediska hygienických důvodů;

$$\dot{V}_{min,i} = V_i * n_{min} \quad (1.17)$$

Kde  $V_i$  [m<sup>3</sup>] Objem vytápěného prostoru;  
 $n_{min}$  [h<sup>-1</sup>] Minimální výměna vzduchu za hodinu;



$$\dot{V}_{inf,i} = 2 * V_i * n_{50} * e_i * \varepsilon_i \quad (1.18)$$

Kde  $n_{50}$  [h<sup>-1</sup>]      Výměna vzduchu za hodinu, při rozdílu tlaků 50 Pa mezi vytápěným prostorem a venkovním okolím;  
 $e_i$  [-]              Stínící součinitel;  
 $\varepsilon_i$  [-]              Výškový korekční činitel respektující nárůst rychlosti vzduchu s výškou budovy;

Pro výpočty se pro  $n_{min}$ ,  $n_{50}$ ,  $e_i$  a  $\varepsilon_i$  uvažují základní hodnoty uvedené v normě.

#### - Nucené větrání

Při zřízení vzduchotechnické soustavy v objektu se musí do výpočtu tepelných ztrát větráním zahrnout i umělé větrání vynucené vzduchotechnikou. Při tomto způsobu větrání se zároveň přivádí a odvádí daný objem vzduchu o určité teplotě.

$$\dot{V}_i = \dot{V}_{inf,i} + \dot{V}_{su,i} * b_{v,i} + \dot{V}_{mech,inf,i} \quad (1.19)$$

Kde  $\dot{V}_{su,i}$  [m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>]      Objemový tok přiváděného vzduchu vzduchotechnikou;  
 $b_{v,i}$  [-]              Redukční teplotní činitel, který zahrnuje teplotní rozdíl mezi teplotou přiváděnou a výpočtovou teplotou místnosti;  
 $\dot{V}_{mech,inf,i}$  [m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>]      Objemový tok vzduchu, který je rozdílem mezi odváděným a přiváděným vzduchem vytápěného prostoru vzduchotechnikou;

$$b_{v,i} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{su,i}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (1.20)$$

Kde  $\theta_{su,i}$  [°C]              Teplota přiváděného vzduchu do místnosti vzduchotechnikou;

Rozdíl objemového toku odváděného a přiváděného vzduchu vzduchotechnikou se vypočítá pro celou budovu podle (1.23) a pak se podle objemového poměru rozdělí pro jednotlivé místnosti podle (1.22).

$$\dot{V}_{mech,inf,i} = \dot{V}_{mech,inf} \frac{V_i}{\sum V_i} \quad (1.21)$$

$$\dot{V}_{mech,inf} = \max(\dot{V}_{ex} + \dot{V}_{su}, 0) \quad (1.22)$$

Kde  $\dot{V}_{mech,inf}$  [m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>]      Rozdílový objemový tok vzduchu, celé budovy;  
 $\dot{V}_{su}$  [m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>]              Objemový tok přiváděného vzduchu vzduchotechnikou do budovy;  
 $\dot{V}_{ex}$  [m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>]              Objemový tok odváděného vzduchu vzduchotechnikou do budovy;



### 2.3.8. Tepelný výkon pro návrh

Finální výpočet stanoví návrhový tepelný výkon, který pokryje tepelné ztráty budovy. Jedná se o součet ztrát větráním prostorem pro všechny vytápěné místnosti budovy. Při přerušovaném vytápění se připočte zátopový výkon pro všechny místnosti, což je akumulční výkon budovy a vypočítá se podle vztahu (1.24). Navrhovaná vytápěcí soustava musí tedy obsahovat zdroj nebo soustavu zdrojů pro vytápění, které jsou schopny tento výkon dodat.

$$\Phi_{RH,i} = A_i * f_{RH} \quad (1.23)$$

Kde  $\Phi_{RH,i}$  [W] Zátopový tepelný výkon vytápěného prostoru  
 $A_i$  [m<sup>2</sup>] Plocha podlahy vytápěné místnosti;  
 $f_{RH}$  [W.m<sup>-2</sup>] Korekční činitel, který závisí na době zátopu a předpokládaném poklesu vnitřní teploty;

Pro vytápěnou budovu se návrhový výkon určí z finálního vztahu (1.25).

$$\Phi_{HL} = \sum \Phi_i + \sum \Phi_{RH,i} \quad (1.24)$$

Kde  $\Phi_{HL}$  [W] Návrhový tepelný výkon pro budovu



## 3. Tepelné čerpadlo

### 3.1. Úvod

V dnešní době je stále více zdůrazňováno, jak je důležité šetřit fosilní paliva. A to jak z důvodu jejich omezené zásoby na zemi, tak z důvodů ekologických, při přeměně těchto paliv na energii. Předpokládá se, že produkované zplodiny mají negativní vliv na atmosféru kvůli skleníkovému efektu a narušování ozonové vrstvy. Z těchto důvodů se v posledních letech stále více uplatňují obnovitelné zdroje energie. Z hlediska vytápění jsou právě tepelná čerpadla jednou z nejekologičtějších variant. V tomto roce si můžeme všimnout snižování cen fosilních paliv, může se tedy zdát, že poptávka po tepelných čerpadlech a jiných zdrojích tepla může klesat. Ovšem tento pokles cen je pouze krátkodobý, je ovlivněn pouze aktuální situací ve světě, například konflikty na blízkém východu apod. Z dlouhodobého hlediska se předpokládá růst cen paliv i elektrické energie právě kvůli omezenosti zásob na zemi. Při zanedbání ekologické náročnosti na výrobu, je tepelné čerpadlo ekologicky výrazně vhodnější než jiné standardní zdroje tepla. Při provozu dokáže až 2/3 tepelné energie získat z obnovitelného zdroje. Tepelné čerpadlo tedy šetří energii, jako jsou elektřina nebo plyn. Toto šetření se projeví na ekologii a na finančních nákladech na vytápění. Bohužel nevýhodou je stále vysoká pořizovací cena, která při životnosti komponentů tepelného čerpadla může být mnohdy nevýhodná.

Tepelné čerpadlo využívá nízkopotenciální energii ze svého okolí a k provozu je nutné dodávat určité množství energie. V dnešní době již převládla kompresorová tepelná čerpadla napájená z elektrické sítě, a proto budu v této práci se zabývat právě tímto typem. Historie tepelných čerpadel sahá až do poloviny 19. století, anglický fyzik William Thomson Kelvin vymyslel a popsal první tepelné čerpadlo. Realizováno bylo však až na počátku 20. století ve Švýcarsku. Uplatnění ve vytápění se však rozmohlo až ve 21. století. Ve vyspělých evropských státech je běžností vytápění s tepelným čerpadlem a ve Švédsku je dnes dokonce až 70% novostaveb vybaveno tímto zařízením. Podobné rozšíření se dá předpokládat do budoucna i v České republice.



## 3.2. Princip tepelného čerpadla

Princip kompresorového tepelného čerpadla spočívá v obrácené činnosti kompresorové chladničky. Odnímá ve výparníku okolní teplo o nižší teplotě a přenáší jej pomocí kompresoru do vytápěcí soustavy s vyšší teplotou prostřednictvím kondenzátoru. Jedná se o uzavřený Carnotův cyklus, který neporušuje termodynamické zákony, ale pouze využívá mechanické práce k transportu energie z chladnější lázně do teplejší.

### 3.2.1. Fyzikální pojmy

#### - První termodynamický zákon

První zákon termodynamický představuje zákon zachování energie pro makroskopickou soustavu. Soustavě dodané teplo se spotřebuje na zvýšení energie této soustavy a na práci, kterou soustava vykoná. Soustava, která je v klidu má pouze vnitřní energii  $U$ .

$$\delta Q = dU + \delta A \quad (2.1)$$

Kde	$\delta Q$ [J]	Dodané teplo;
	$dU$ [J]	Vnitřní energie soustavy;
	$\delta A$ [J]	Práce vykonaná soustavou;

#### - Vratné děje

Vratné děje mohou probíhat v obou směrech. Po uskutečnění děje v přímém směru, se při uskutečnění děje ve směru opačném vrátí soustava do původního stavu. Děj musí být kvazistatický, tedy musí probíhat tak pomalu, aby v každém okamžiku byl tento děj nekonečně blízko rovnovážnému stavu.

#### - Nevratné děje

Nevratné děje mohou probíhat bez vnějšího působení pouze v jednom směru. Tento směr nelze určit pomocí změny energií, ale určí se pomocí změny entropie.

#### - Kruhové děje

Děj, při kterém termodynamická soustava prošla řadou změn a vrátila se do původního stavu, se nazývá kruhový děj. V  $p$ - $V$  a  $T$ - $S$  diagramu se jedná o uzavřenou křivku.



### - Entropie

Jedná se o stavovou veličinu, která závisí pouze na počátečním a konečném stavu děje. Entropie nevratného děje s časem roste a závisí na změně tepla a teplotě, při které děj probíhá. U aplikací lze růst entropie považovat jako ubývání schopnosti konat práci.

$$dS = \frac{\delta Q}{T} \quad (2.2)$$

Kde  $dS$  [kJ.K<sup>-1</sup>.kg] Změna entropie;  
 $\delta Q$  [kJ] Přijaté teplo soustavou;  
 $T$  [K] Termodynamická teplota;

### - Druhý zákon termodynamiky

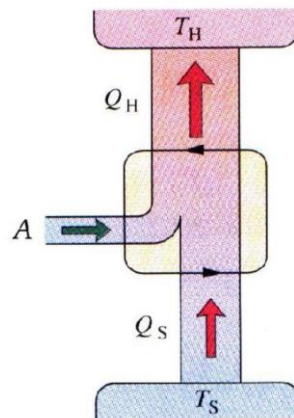
Entropie uzavřeného systému při vratném ději zůstává nezměněna a při nevratném ději roste. Změna entropie nemůže být záporná, tedy platí vztah (2.3).

$$\Delta S \geq 0 \quad (2.3)$$

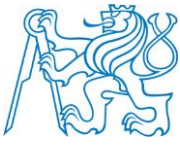
Z uvedené definice můžeme tvrdit, že teplo může samovolně přecházet pouze z prostředí o vyšší teplotě do prostředí o nižší teplotě. Zároveň platí, že část mechanické energie se přeměňuje na teplo, ale obráceně to neplatí.

### - Tepelný stroj s inverzním cyklem

Tepelný stroj je stroj, který si s okolím vyměňuje teplo a práci. Pro inverzní cyklus platí, že práce je stroji dodávána k odebrání tepla chladnější lázni a předávána teplejší lázni.



Obr. 2. Tepelný stroj s inverzním cyklem [10]



### 3.2.2. Carnotův levotočivý cyklus

Carnotův cyklus je vratný kruhový děj, který se skládá ze čtyř procesů. Pravotočivý cyklus popisuje ideální Carnotův motor, kde je dodáváno teplo ke konání práce. Levotočivý cyklus popisuje teoretický princip chladniček a tepelných čerpadel, kde je konána práce k přenesení tepla.

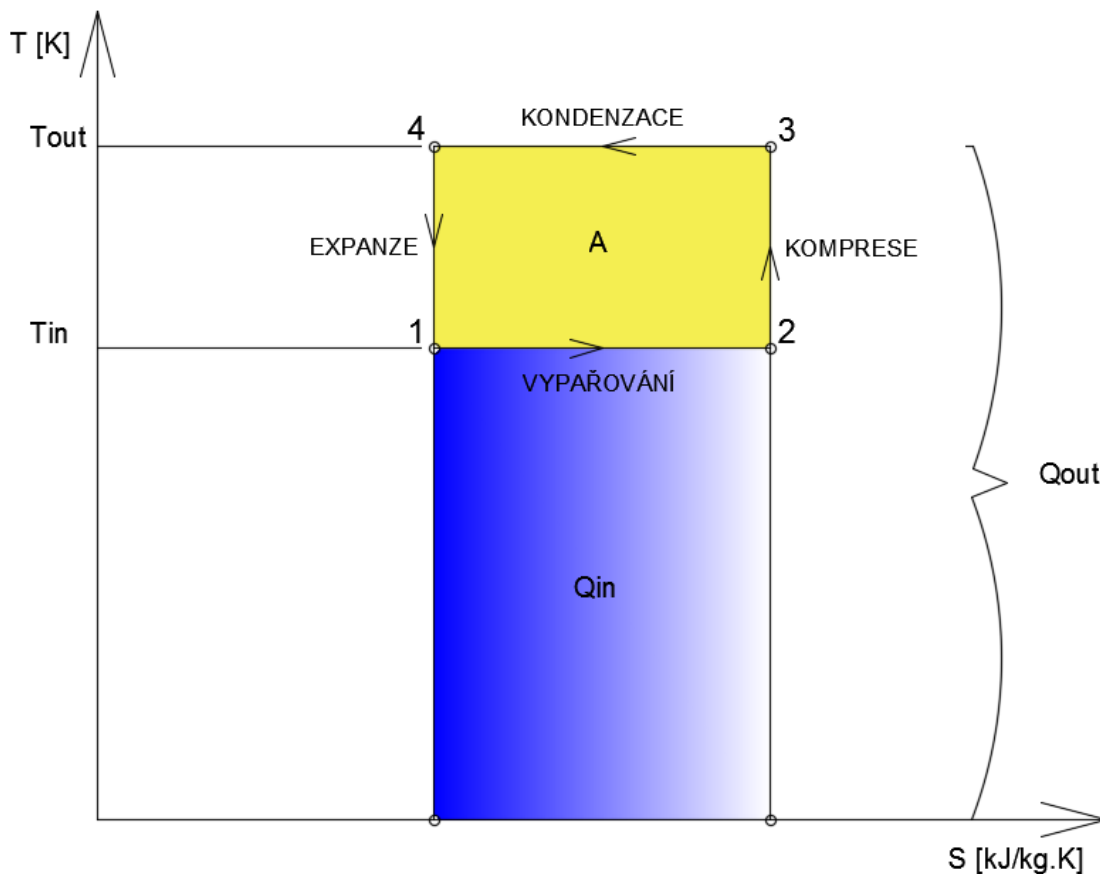
Na obrázku č. 3 je vyneseno tento děj pro teoretický princip tepelného čerpadla.

1-2 Izotermické vypařování (odebrání energie  $Q_{in}$  z chladnější lázně);

2-3 Adiabatická komprese (navýšení vnitřní energie o  $A$  zvýšením teploty na  $T_{out}$ , energie odpovídá práci vykonané na plynu);

3-4 Izotermická kondenzace (odevzdání energie  $Q_{out} = Q_{in} + Q_{el}$  teplejší lázni);

4-1 Adiabatická expanze (snížení teploty  $T_{out}$  na počáteční teplotu  $T_{in}$ );



Obr. 3. Carnotův cyklus teoretického tepelného čerpadla [1] upraveno autorem



Energie dodaná ohřivači pro jeden cyklus je podle prvního termodynamického zákona:

$$Q_{out} = Q_{in} + A \quad (2.4)$$

Kde  $Q_{in}$  [J]      Teplo dodané ohřivačem o nižší teplotě;  
 $Q_{out}$  [J]      Teplo odebrané chladičem o vyšší teplotě;  
 $A$  [J]          Práce dodaná při kompresi;

Jedná se o vratný kruhový děj, změna entropie pro jeden cyklus je pak podle druhého termodynamického zákona rovna:

$$\Delta S = \left| \frac{Q_{out}}{T_{out}} \right| - \left| \frac{Q_{in}}{T_{in}} \right| = 0 \quad (2.5)$$

Kde  $\Delta S$  [J.Kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]      Změna entropie za cyklus;  
 $T_{out}$  [K]                      Teplota chladiče;  
 $T_{in}$  [K]                        Teplota ohřivače;

Pomocí rovnice (2.5) lze dospět k následujícímu poměru (2.6), díky kterému lze nahradit poměr energií poměrem teplot.

$$\left| \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \right| = \frac{T_{out}}{T_{in}} \quad (2.6)$$

Výkonové číslo udává poměr mezi využitým teplem k dodané práci, díky poměru (2.6) lze upravit do tvaru (2.7).

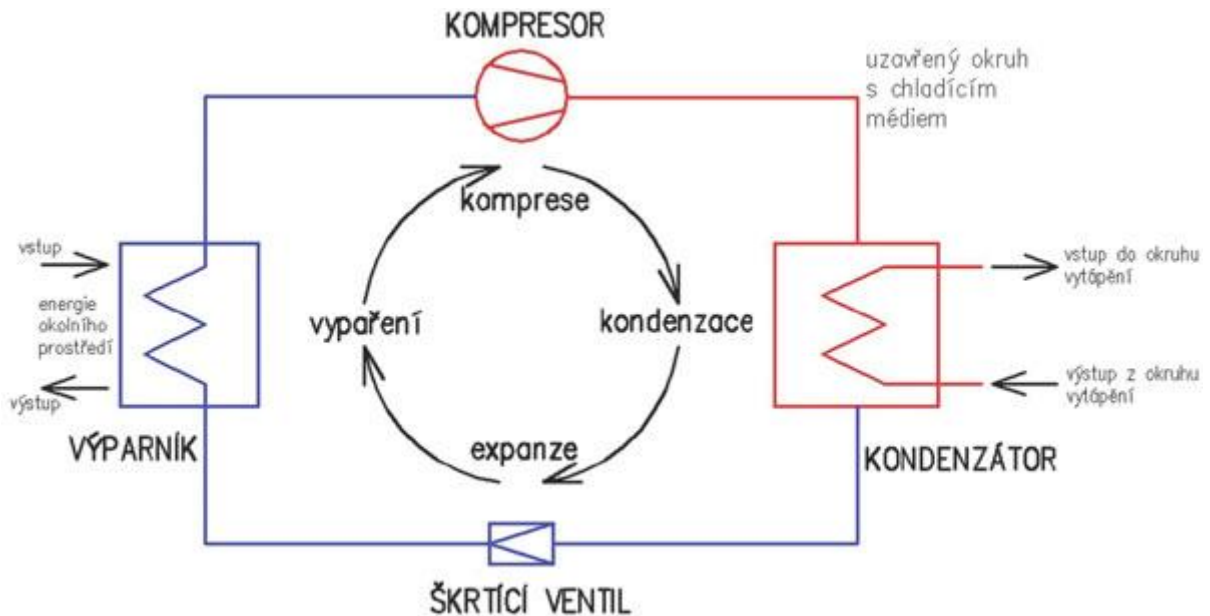
$$\varepsilon(C) = \left| \frac{Q_{out}}{Q_{el}} \right| = \frac{|Q_{out}|}{|Q_{out}| - |Q_{in}|} = \frac{|T_{out}|}{|T_{out}| - |T_{in}|} \quad (2.7)$$





### 3.2.3. Schéma tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo pracuje podle Carnotova levotočivého cyklu. Na obrázku č. 4 lze vidět principiální schéma tepelného čerpadla.



Obr. 4. Schéma tepelného čerpadla [11]

Teplonosná média (chladicím médium) v tomto cyklu jsou kapaliny s extrémně nízkým bodem varu (média na bázi freonů R11, R12, R12B1, R21, R114, RC318, R502 apod.). Toto médium s nízkým tlakem se odpařuje ve výparníku a tím se stane nositelem nízkopotenciální energie čerpané z okolí. Tato energie bývá získávána ze země, vzduchu nebo vody podle typu tepelného čerpadla.

Plynné médium je nasáváno do kompresoru, kde je stlačeno a tím rapidně zvýšen tlak a zároveň zvýšena teplota. Kompresor vlastně slouží pro transformaci teploty média u přenosu tepla. Dodaná práce kompresorem je přeměněna na teplo. Toto teplo se přičte k teplu přivedenému z výparníku.

V kondenzátoru páry přehřátého stlačeného plynu kondenzují a odevzdávají výparné teplo otopné soustavě, které je v ní vedeno jiným médiem (voda, vzduch). Dále pak přes expanzní ventil, kde chladicímu médiu klesne tlak a teplota na původní hodnotu, je toto médium opět přivedeno k výparníku. Stav kapaliny je nyní takový, že se může ve výparníku opět vypařit a celý cyklus se opakuje. Přes ventil se zároveň reguluje vstřikování média do výparníku.



### 3.2.4. Topný faktor (COP)

Orientačně lze určit, že přibližně 25% dodaného tepla je teplo přeměněné z práce na pohon kompresoru a 75% je teplo přivedené z výparníku získané z nízkopotenciální energie. Ovšem tento poměr je proměnlivý a závisí především na teplotě zdroje nízkopotenciální energie. U tepelného čerpadla se udává činitel výkonu (topný faktor). Ten reprezentuje poměr dodaného tepla a energie potřebné pro přečerpání tepla. Energie pro přečerpání je pak elektrický příkon kompresoru.

$$\varepsilon = \frac{Q_u}{P_{el}} \quad (2.8)$$

Kde	$\varepsilon$ [-]	Topný faktor;
	$Q_u$ [W]	Dodaná energie otopné soustavy za jednotku času;
	$P_{el}$ [W]	Příkon tepelného čerpadla;

Orientačně lze vypočítat topný faktor podle rovnice (2.6), která je odvozena z Carnotova cyklu rovnice (2.7).

$$\varepsilon = \eta_t * \frac{T_k}{T_k - T_0} \quad (2.6)$$

Kde	$T_k$ [K]	Teplota ve výparníku;
	$T_0$ [K]	Teplota v kondenzátoru;
	$\eta_t$ [-]	Účinnost termodynamického cyklu tepelného čerpadla; (pohybuje se kolem 0,5);

Topný faktor je jeden z nejdůležitějších údajů tepelného čerpadla, dává nám k dispozici představu o tom, kolikrát je větší dodaný výkon do otopné soustavy než dodaný příkon. Ze vztahu (2.6) je patrné, že čím větší bude rozdíl mezi teplotou ve výparníku a kondenzátoru tím bude topný faktor menší. Teplota v kondenzátoru je požadovaná teplota otopné soustavy, která se příliš nemění. Teplota ve výparníku je teplota okolí (vody, vzduchu, země), tato teplota se výrazně mění během ročního období. Paradoxně když je topný faktor v létě největší, je potřeba tepla minimální, oproti zimnímu období, kdy je topná sezóna a topný faktor mnohem nižší. V praxi je tedy nejvhodnější využívat zdroje tepla s co nejvyšší teplotou a dodávat do otopných systémů s co nejnižší teplotou, jako je například podlahové vytápění.

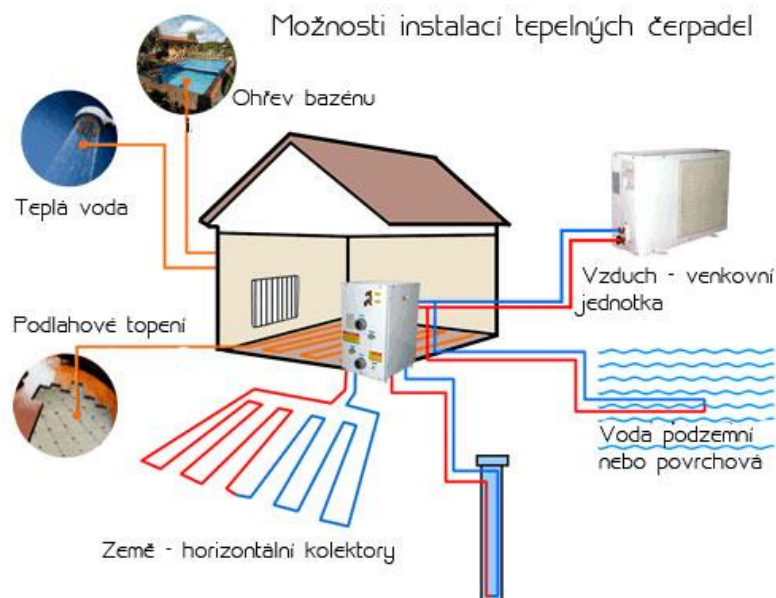


### 3.3. Druhy tepelných čerpadel

Tepelná čerpadla pracují na různých principech, podle toho se také dělí. Existují tepelná čerpadla, jako jsou například absorpční tepelná čerpadla, termoelektrická tepelná čerpadla apod. V této práci se zabýváme nejrozšířenějším druhem, který je využíván pro standardní vytápění objektů a to konkrétně kompresorovým tepelným čerpadlem. Princip tohoto tepelného čerpadla již byl osvětlen a v následující části této kapitoly budou představeny druhy tohoto tepelného čerpadla.

Kompresorová tepelná čerpadla se dělí podle toho, jak je tepelná energie získávána a jak předávána. Tedy podle zdroje primárního okruhu a ohřivanému médiu v sekundárním okruhu. Volba primárního zdroje má zásadní vliv na konstrukci a vlastnosti tepelného čerpadla. V názvu druhu tepelného čerpadla první slovo představuje zdroj tepla a druhé slovo představuje ohřivané médium v sekundárním okruhu.

Nejčastěji pracují sekundární okruhy s vodou, jako s médiem pro distribuci tepla. Další sekundární okruhy mohou pracovat se vzduchem, který je méně častý, ale také se uplatní pro vytápění objektů, především u klimatizačních jednotek. Ovšem okruh s vodou jednoznačně dominuje. V této podkapitole budou popsána tepelná čerpadla podle zdroje nízkopotenciální energie pracující s vodou na sekundární straně. Pro médium vzduch by fungovala stejně, pouze by se lišilo konstrukční řešení kondenzátoru.



Obr. 5. Instalace tepelných čerpadel [12]



### 3.3.1. Vzduch – voda

Odebírá teplo z okolního nebo odpadního vzduchu. Nejčastější jsou dvě varianty provedení. Jedna se nazývá split, kdy je tepelné čerpadlo rozdělené do dvou jednotek. Venkovní jednotka je venku pro přímý kontakt se zdrojem tepla (okolním vzduchem). V této jednotce se nachází výparník doplnění ventilátorem pro cirkulaci vzduchu a odvedení odpadního vzduchu. Dále je zde umístěn expanzní ventil. Vnitřní a venkovní jednotku propojuje izolované měděné potrubí skrz zeď dovnitř do vytápěného objektu. V tomto potrubí proudí chladivo. Ve vnitřní jednotce se nachází kompresor a kondenzátor, ve kterém je předáváno teplo do otopného systému. V některých provedení se může kompresor nacházet ve venkovní jednotce. Méně často se vyskytují kompaktní tepelná čerpadla, která jsou umístěna venku. Z tohoto tepelného čerpadla, jak pak dále skrz zeď vedena izolovaná potrubí s topnou vodou do otopné soustavy.

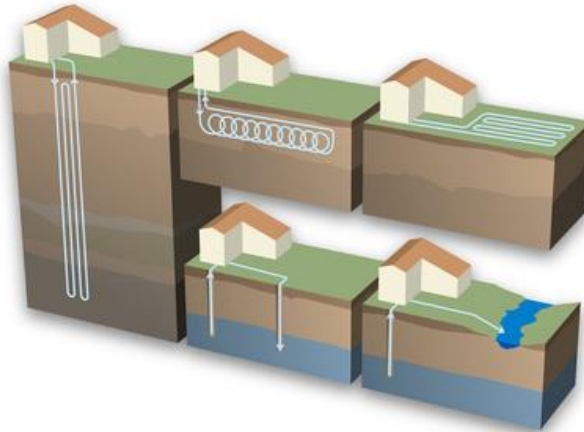
Teplota zdroje tepla je závislá na klimatických podmínkách dané lokality, na ročním období a na změnách teploty v průběhu roku. Důležité je si uvědomit, že se na výparníku sráží vodní pára ze vzduchu a při nízkých teplotách kolem 0 °C vzniká námraza, kterou je nutné odstraňovat. To se provádí buď reverzací tepelného čerpadla, nebo vhodně umístěným topným tělesem. Odstraňování námrazy způsobí ztrátu energie a pokles topného výkonu. Uspořádání Vzduch-voda je výhodné z hlediska dostupnosti, jelikož čerpat teplo ze vzduchu lze ze spousty míst. Také se sníží náklady na montáž, které někdy mohou být stejně velké jako čerpadlo samo (země-voda). Oproti tomu je zdroj tepla velmi proměnlivý, což je nevýhodné pro topný faktor. S klesající teplotou se zvyšuje množství tepla, které je potřeba pro vytápění. Kvůli klesání topného faktoru se obvykle tato tepelná čerpadla doplňují jiným zdrojem tepla, proto některé konstrukce tepelných čerpadel již obsahují topná tělesa. Dále je nutné počítat s vyšší hlučností zařízení.

### 3.3.2. Země – voda

V tomto systému jsou primární výparníky uzpůsobeny na uložení do země. V sekundárním okruhu je teplo předáváno vodě. Teplo je získáváno ze země, kde se akumuluje teplo vlivem slunečního záření. U tohoto typu jsou možné dvě nejčastější konstrukce. První typ konstrukce odebírá teplo přímo chladivem. V tomto případě tvoří výparník obvykle měděná trubka, kterou pokládáme do terénu či vrtu, teplo přechází přímo do chladiva, které je nositelem tepla. Druhý způsob konstrukce je využití nemrznoucí směsi (např. solanky). Tu přivádíme do výparníku, který je tvořen deskovým výměníkem. Tato nemrznoucí směs odebírá teplo z výměníku, kterým je PE hadice umístěná v zahradě nebo v hlubinném vrtu. K využití tepla ze země se využívají jednak zemní sondy nebo zemní kolektory. Při použití zemních kolektorů je velkou nevýhodou nedostatek prostoru, protože k vytápění určité plochy je nutné rozvést zemní kolektory až po 3x větší ploše. Hodí se tedy pro domky s velkými zahradami. Také se tato varianta podepíše na ceně montáže, kde se k ukládání kolektoru musí vykopat velká plocha. Výhodou je však ustálenější topný faktor, který se příliš nezmění i v nejchladnějších dnech, kdy teplota země klesne maximálně na -5 °C.



U varianty zemních sond je zapotřebí pouze vyvrtat dostatečně hlubokou díru (přibližně 150m). Tím se sice zbavíme závislosti na ploše pozemku, ale vyvrtat příslušnou díru bude finančně mnohem nejnáročnější. Hloubka vrtu závisí na složení podloží. Topný faktor těchto řešení je velmi vysoký a poměrně stálý po celý rok, protože minimální teplota solanky vystupující ze země je kolem 2 °C při nejnepříznivějších podmínkách. Systém země-voda je například oproti systému voda-voda výhodný z hlediska stálé čistoty teplotonosné látky a nižšího výkonu oběhového čerpadla.



**Obr. 6. Tepelné čerpadlo typu země-voda [13]**

### 3.3.3. Voda – voda

V tomto případě se teplo odebírá z povrchové nebo podzemní vody. V případě povrchové vody se využívá soustava PE trubek s nemrznoucí směsí vložených do potoka. Ta se uloží na dno potoka. Ve výměníku musí být ekologicky nezávadná nemrznoucí směs. Problém nastává při poklesu teploty vody pod 4 °C, v tomto případě se může tvořit na kolektorech led, který zhoršuje přenos tepla mezi vodou a PE trubkami. Pro zmenšení tlakových ztrát se může zapojit více paralelních okruhů. Dále se využívá přímý odběr tekoucí vody. Je nutné v tomto případě zabránit zamrznutí toku a ochránit výměník před nečistotami, což je na údržbu náročnější oproti jiným variantám. Musí se uvažovat příkon vhodného oběhového čerpadla, který se podepíše na topném faktoru.

Vhodnějším zdrojem je podzemní voda, která si uchovává téměř konstantní teplotu a to až 9 °C. Proto je po celý rok topný faktor příznivý a není třeba dalšího zdroje na vytápění objektu. Vrtu jsou sice širší ale zároveň méně hluboké (10 - 15 m). Podzemní voda se odebírá ze zdrojové studny a po ochlazení se vypouští do vsakovací studny. Bohužel podzemní voda není všude k dispozici. Další nevýhodou je nutnost čerpadla pro čerpání vody ze země, které musí být stále v provozu. To opět sníží topný faktor tepelného čerpadla. Potřebný průtok vody musí být dostatečně velký, aby nedocházelo k zamrznutí vody ve výparníku.

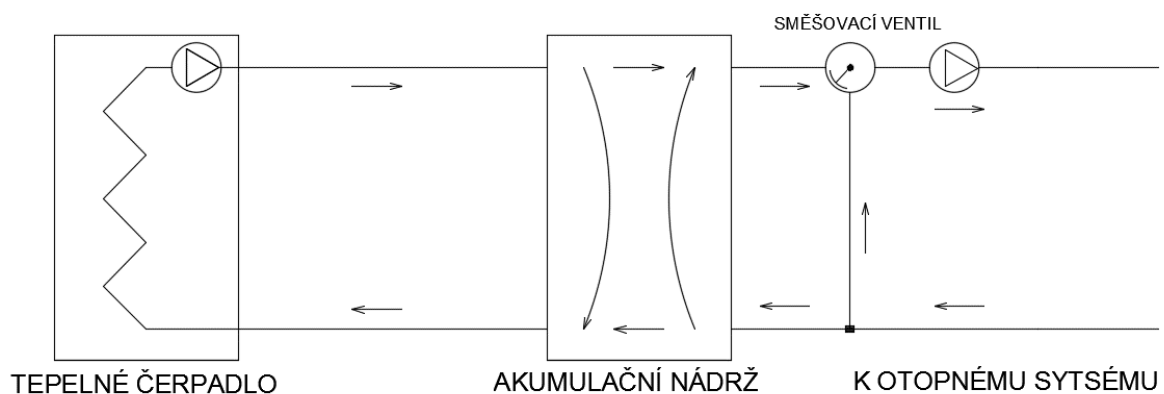


### 3.4. Připojení a provoz

Výkon tepelné soustavy se dimenzuje tak, aby byla v objektu zajištěna tepelná pohoda. Teplota v místnostech pohybuje kolem 20 °C a tato teplota musí být zajištěna i při venkovních -15 °C. U připojení tepelného čerpadla k otopnému systému se hned setkáváme s několika problémy, které odlišují dimenzování tepelného čerpadla od jiných zdrojů tepla. Běžně instalované zdroje se mírně předimenzují podle návrhového výkonu (1.25), Ten vychází z tepelných ztrát pro nejnepříznivější podmínky v dané oblasti (nejnižší teplotu -12 °C v klimaticky mírnějších oblastech a -18 °C v klimaticky drsnějších oblastech). Tepelné čerpadlo při nízkých teplotách nemusí být schopno dodávat dostatečně velký výkon, proto se často doplňuje jiným zdrojem. Dimenzuje se na 70-80 % tepelné ztráty a doplňkový zdroj na 100% tepelné ztráty. Další problém nastává při regulaci a to i směrem k nižšímu výkonu. Jediným technicky možným způsobem regulace je frekvenční řízení počtu otáček kompresoru. Realizuje se frekvenčním měničem, který bývá příliš drahý. Cena je srovnatelná s cenou kompresoru, který tvoří přibližně 70 % ceny tepelného čerpadla. Rozsah otáček při řízení tímto měničem není nikterak velký, tedy řízení měničem není příliš vhodná varianta. Novinkou na trhu jsou tepelná čerpadla s tzv. modulací výkonu, která umožní plynulou regulaci výkonu podle potřeby tepla. Další problém spočívá v tom, že tepelné čerpadlo na sekundárním okruhu potřebuje stálý průtok pro přenos tepla, aby se voda nezačala přehřívat. Také je nutno odtávat primární okruh, aby nedocházelo k zamrzání.

#### 3.4.1. Akumulační nádrž

Nejběžnější řešení problému s regulací a průtokem je zařazení akumulční nádrže. Tepelné čerpadlo pak vyhřívá vodu v akumulční nádrži se stálým průtokem a podle potřeby spíná tak, aby byla teplota v nádrži přibližně konstantní. Nádrž slouží k akumulaci tepelné energie vytvořené tepelným čerpadlem.



Obr. 7. Připojení TČ k otopnému systému využitím akumulční nádrže [1]



Nejvhodnější objem nádrže lze zvolit tak, že akumulovaná energie v nádrži vystačí po dobu jedné hodiny na vytápění objektu, přitom teplota v nádrži klesne o přípustnou hodnotu (např. 47 - 42 °C). Nízký tarif bývá přerušen u tepelného čerpadla na dvě hodiny denně, toto přerušování bývá rozděleno do 2x1 hodina, proto musí energie vystačit právě jednu hodinu. Ovšem pro zvýšení životnosti kompresoru je potřeba snížit počet startů, v tomto ohledu se vyplatí větší akumulací nádrž. Objem nádrže se vypočítá podle následující rovnice:

$$V = \frac{Q_u * \tau_{off} * 3600}{\rho * c * \Delta\theta} \quad (3.1)$$

Kde  $Q_u$  [W] Tepelný výkon zdroje tepla;  
 $\tau_{off}$  [h] Doba přestávky chodu tepelného zdroje;  
 $\rho$  [kg.m<sup>-3</sup>] Hustota média (pro vodu  $\rho = 1000$  kg.m<sup>-3</sup>);  
 $c$  [J.Kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>] Měrná tepelná kapacita (pro vodu:  $c = 4180$  J.Kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>);

Objem lze také jednoduše stanovit podle doporučení výrobců (3.2), kteří uvádí, že na 1 kW výkonu připadá 50 l. Pro podlahové vytápění dokonce 80-100 l. U podlahového vytápění se pracuje s nižší teplotou, což zapříčiní rychlejší pokles teploty, protože pracuje s velkým průtokem z nádrže do otopného systému. Proto se pro podlahové vytápění doporučují větší objemy nádrží.

$$V = Q_u * k_u \quad (3.2)$$

Kde  $k_u$  [kW.K<sup>-1</sup>] Koeficient přepočtu mezi výkonem a objemem nádrže;

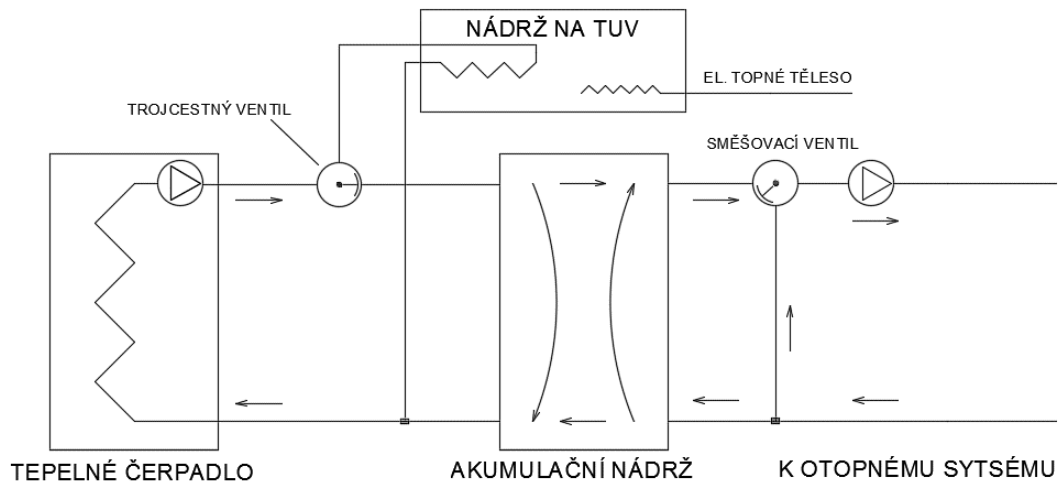
Jak již bylo zmíněno, topný faktor závisí na výstupní teplotě sekundárního okruhu. Pro vytápění s tepelným čerpadlem je tedy vhodné zřídit otopnou soustavu s nízkoteplotními systémy, kde voda nepřesahuje 45 °C. Naopak při výstupní teplotě vyšší než 55 °C je nutné tepelné čerpadlo zcela odstavit. Tedy pro vytápění klasických radiátorů, kde se teplota topné vody pohybuje kolem 75-80 °C je tepelné čerpadlo nevhodné. Také je důležitý teplotní spád, což je rozdíl teploty topné a vratné vody. Pro tepelná čerpadla jsou vhodnější topné systémy s nižším teplotním spádem a větším průtokem. Tepelné čerpadlo je ideální volba pro systémy s podlahovým vytápěním, který má nízký teplotní spád (5 °C) a nízkou teplotu topné vody (40 °C).





### 3.4.2. Ohřev TUV

Ohřev teplé užitkové vody tepelným čerpadlem, lze realizovat paralelním připojením bojleru přes elektronický trojcestný ventil.



**Obr. 8. Zapojení TČ pro ohřev TUV [1]**

Z tepelného čerpadla proudí konstantní rychlostí ohřátá voda do akumulární nádrže. V nádrži na TUV je teplá užitková voda připravena k využití. V případě poklesu teploty vody na určitou mez, trojcestný ventil přepne výstup tak, aby ohřátá voda z tepelného čerpadla proudila do nádrže na TUV. Díky výměníku se pak předává teplo vodě v nádrži, přičemž teplosměnná plocha výměníku musí odpovídat tepelnému výkonu čerpadla. Obvykle se využívají měděné trubky ve tvaru spirály.

Takto zapojený systém může buďto ohřívat TUV tepelným čerpadlem v plném rozsahu nebo předeřívát na určitou teplotu. Zbytek obstará elektrický bojler nebo jiný zdroj na přípravu TUV. Průtokový ohřev pomocí tepelného čerpadla není možný, neboť rychlost ohřevu je nedostačující, proto lze použít pouze zásobníkový ohřev. Je potřeba si uvědomit, že při přípravě TUV je tepelné čerpadlo od vytápěcího okruhu. Je tedy nutné zajistit akumulární nádrž s objemem tak velkým, aby pokles teploty na dovolenou hodnotu proběhl pomaleji, než doba přípravy TUV. Pro běžné domácnosti vystačí nádrž o objemu, který se určí dle příslušné normy, kde na jednu osobu připadá 40 až 50 l vody. Nejvýhodnější je využít tepelné čerpadlo pro vytápění v dobách nízké spotřeby, kdy je topný faktor vysoký, tedy příprava vody je téměř zdarma.



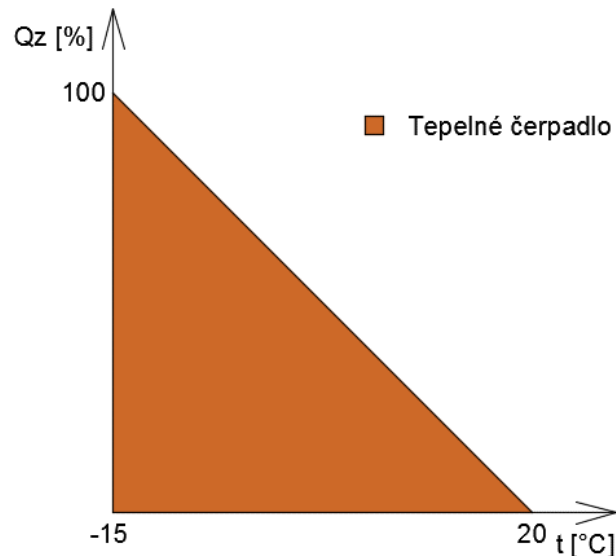


### 3.4.3. Režimy provozu

Při dimenzování tepelného čerpadle je nutné se nejprve rozhodnout v jakém zapojení a režimu se bude tepelné čerpadlo provozovat. Tedy jestli bude v systému jako jediný zdroj tepla nebo jestli bude současně sloužit pro ohřev TUV či nikoli. Tepelné čerpadlo lze provozovat dle následujících režimů provozu, které závisí na zapojení vytápěcí soustavy.

#### - *Monovalentní provoz*

Jedná se o režim, kdy je v soustavě zapojeno tepelné čerpadlo, jako jediný zdroj tepla pro vytápění. Tepelné čerpadlo proto musí pokrýt veškerou tepelnou ztrátu objektu a to i v nejnejpříznivějších podmínkách. Tento režim je vhodný zpravidla pro nízkoenergetické domy, které mají nízké tepelné ztráty. Dále je nutné si pořídit tepelné čerpadlo, které dokáže pracovat i v nejextrémnějších podmínkách (např.  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).



Obr. 9 Monovalentní provoz

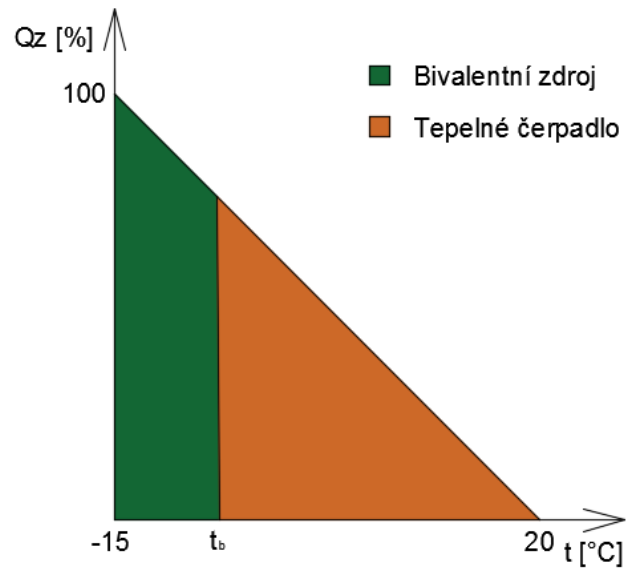
#### - *Bivalentní provoz*

V tomto režimu se tepelné čerpadlo doplňuje bivalentním zdrojem. Jelikož je tepelné čerpadlo dimenzováno na maximální tepelné ztráty objektu, jeho výkon zůstává po většinu času plně nevyužit. Proto se obvykle doplní jiným zdrojem, který pokryje tepelné ztráty při nízkých teplotách. Dále je nutno využít bivalentní provoz v případě, kdy tepelné čerpadlo již nedokáže pracovat při nepříznivých klimatických podmínkách. V zásadě rozdělujeme bivalentní provoz na tři provozní režimy.



- *Alternativně-bivalentní provoz*

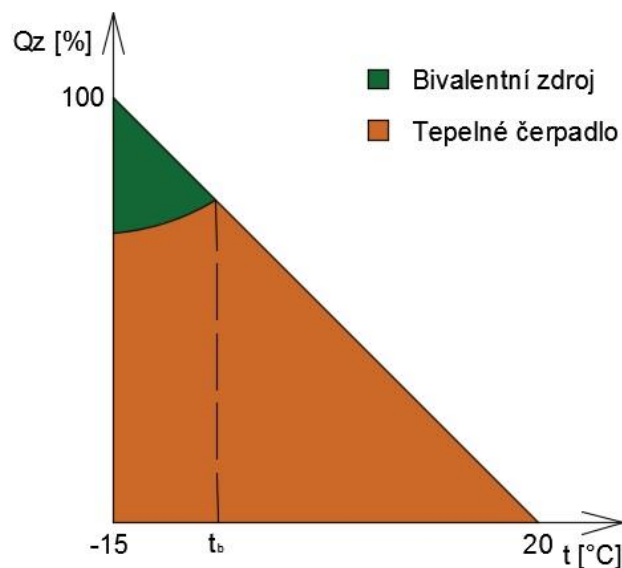
Tepelné čerpadlo v tomto režimu pracuje pouze část topné sezóny. Při určité předem nastavené teplotě je tepelné čerpadlo vypnuto a odstaveno z provozu. Následně je sepnut bivalentní zdroj, který musí pokrýt veškeré tepelné ztráty při nižších teplotách.



Obr. 10. Alternativně-bivalentní provoz

- *Paralelně-bivalentní provoz*

Tepelné čerpadlo pracuje po celou dobu topné sezóny. Jakmile tepelné čerpadlo nestačí na pokrytí ztrát od určité teploty, je připnut bivalentní (špičkový) zdroj, který pokryje zbylé ztráty.

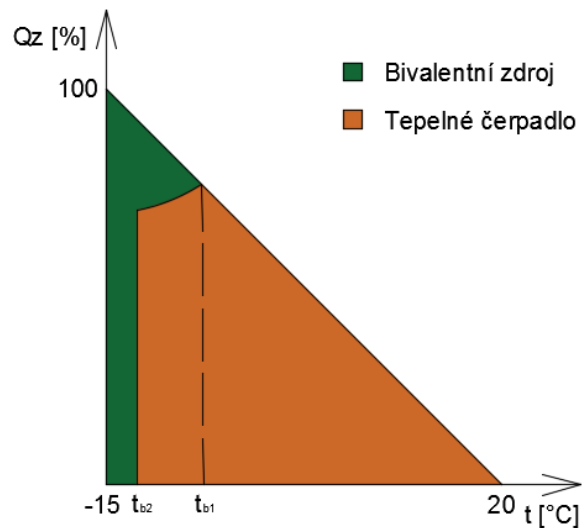


Obr. 11. Paralelně-bivalentní provoz



- *Částečně paralelně-bivalentní provoz*

Tepelné čerpadlo pracuje do určité teploty samostatně. Po dosažení této teploty je připojen bivalentní zdroj, který pracuje současně s čerpadlem. Při extrémně nízkých teplotách je tepelné čerpadlo odstaveno z provozu a pracuje pouze bivalentní zdroj. Zdroj musí být ovšem dimenzován tak aby dokázal pokrýt maximální tepelné ztráty.



**Obr. 12. Částečně paralelně-bivalentní provoz**

- *Bod bivalence*

Bod bivalence  $t_b$  je venkovní teplota, při které je maximální výkon tepelného čerpadla roven tepelné ztrátě objektu pro danou teplotu.



## 4. Návrh pro objekt

### 4.1. Objekt

#### 4.1.1. Základní informace

Jedná se o rodinný dům dvoupatrový. Potřebná dokumentace je dodána jako příloha. Dům se nachází ve městě Cheb, konkrétně na adrese Kolmá 7, Cheb, 35002. Číslo daného pozemku je parcela č. 953/38. Pozemek je rovinný a jeho plocha je 891 m<sup>2</sup>. Zastavěná plocha rodinného domu tvoří cca 25% (223,64 m<sup>2</sup>) z celkové plochy parcely. Podlahová plocha činní pro 1.NP 197,35 m<sup>2</sup>, pro 2.NP 56,45 m<sup>2</sup> (celkem 283,8 m<sup>2</sup>).

**Příprava teplé užitkové:** Vodovodní potrubí je přivedeno k vodoměru do vodoměrné šachty a z ní je přivedeno potrubí do technické místnosti, kde se nachází elektrický stacionární zásobník teplé užitkové vody (OKCE 200 S/2,2 kW) o objemu 200 l. Dále je voda rozváděna potrubím, které je izolované mirelonem.

**Vytápění:** V současné době zajišťuje vytápění a ohřev teplé užitkové vody plynový kotel PANTHER 12 KTO (11,5 kW) v provedení TURBO, který se taktéž nachází v technické místnosti se zásobníkem. Otopný systém se dělí na dva okruhy. První okruh vyhřívá radiátory. Ty jsou rozmístěny v místnostech: 1.01, 1.06, 2.01, 2.02, 2.03, 2.04, 2.05. Druhý okruh vytápí podlahové vytápění REHAU (90 W.m<sup>2</sup>) a to v místnostech: 1.03, 1.04, 1.05, 1.07, 1.08, 1.09.

**Plynová instalace:** Objekt je zásobován zemním plynem pro potřebu vytápění z venkovního STL plynovodu v ulici před objektem. Instalace plynu je určena pro vytápění plynovým kotlem PANTHER 12 KTO s účinností 89,9%. Jmenovitý výkon kotle je 11,5 kW, rozsah nastavení tepelného výkonu 3,5 – 11,5 kW, rozsah teplé vody 35 – 85 °C, příkon 0,15 kW a dosavadní maximální spotřeba plynu činí 1,34 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>.

**Větrání:** Větrání všech místností je přirozené, zabezpečené otevíracími okny plastové konstrukce. Pro ztrátu větráním je počítáno s minimálním hygienickým minimem výměny vzduchu a to 0,6 h<sup>-1</sup> u koupelen s oknem a 0,3 h<sup>-1</sup> u ostatních místností.



## 4.2. Tepelné ztráty objektu

Podle technické dokumentace tepelné ztráty budovy činí 9,8 kW, které byly vypočteny ve smyslu ČSN 06 0210. Tato norma již není platná a v rámci této práce byly znovu spočteny. Veškeré výpočty proběhly v souladu s postupy dané zmiňovanou normou ČSN EN 12831, jejíž postupy byly probrány v kapitole 2 této práce. Pro výpočty tepelných ztrát byly použity součinitele tepelné vodivosti podle typu konstrukce uvedené v technické dokumentaci. Dále se určovaly i plochy stěn, oken, dveří, podlahy a stropů pro každou místnost. Uvažovaná návrhová teplota pro oblast Chebsko je  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Vnitřní výpočtová teplota je  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$  pro obytné místnosti,  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$  pro dvě koupelny (1.09 a 2.05),  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$  pro chodby a další místnosti (1.01, 1.02, 1.07, 1.06, 2.02) a  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  pro technickou místnost (1.10). Součástí objektu je také garáž, která se uvažuje jako nevytápěná místnost. Je vytápěna pouze zbytkovým teplem a její ztráty nejsou zahrnuty v celkových ztrátách budovy. Součinitele prostupu tepla pro konstrukce podle dokumentace jsou uvedeny v tabulce č. 4. Vypočtené ztráty všech místností jsou uvedeny v tabulce č. 3. Označení místností souhlasí s označením v dodané dokumentaci, pouze místnost 1.11 není garáž, ale je uvažována jako schodiště do úrovně 1. patra mezi místnostmi 1.05 a 1.07. Program s výpočtem se jménem „Ztráty“ je přiložen k této práci na CD.

Patro	Číslo místnosti	t [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Ztráta prostupem $\Phi_t$ [W]	Ztráta větráním $\Phi_v$ [W]	Celková ztráta $\Phi$ [W]
1	1.01 + 1.02	18	548	170	718
	1.03	21	678	149	827
	1.04	21	2070	645	2715
	1.05	21	915	525	1440
	1.06	21	291	147	438
	1.07	18	-11	91	80
	1.08	21	148	93	241
	1.09	24	534	343	877
	1.10	15	137	63	200
	1.11	-8	23	21	44
Ztráta 1. NP			5336	2247	7582
2	2.01	21	295	138	433
	2.02	18	168	50	218
	2.03	21	584	149	733
	2.04	21	562	148	710
	2.05	24	229	106	335
Ztráta 2.NP			1838	591	2429
Celková tepelná Ztráta - $\Phi$ [W]			7174	2838	10012

Tab. 3. Tepelné ztráty objektu



Konstrukce	U [W/m <sup>2</sup> .K]
P1,2,4,5	0,33
P3,4	0,32
P7	2,6
P8,9	0,28
B1	0,19
B2	0,3
B3	0,27
C1	0,42
C2	0,29
S1	0,2
S2	0,2
okna	1,3
vnitřní dveře	2,6
vnější dveře	1,5

Tab. 4. Součinitele prostupu tepla konstrukcí

## 4.3. Výběr a dimenzování tepelného čerpadla

### 4.3.1. Faktory při výběru

Cílem instalace tepelného čerpadla je především snížit náklady na vytápění a využít potenciál nízkoenergetického domu s podlahovým vytápěním, dále také snížit ekologickou náročnost objektu.

Při výběru tepelného čerpadle jsem omezen důležitými faktory. Typ čerpadla musí na sekundárním okruhu pracovat s tepelným médiem vodou kvůli stávajícímu otopnému systému. Jako zdroj nízkoenergetické energie nelze využít vodu, neboť zemní voda se pod parcelou nenachází a povrchová voda k dispozici také není. Varianta s kolektory také nepřichází v úvahu, protože investor má již vybudovanou zahradu a uložení kolektorů by znamenalo její totální devastaci. Vytváření nové zahrady by bylo příliš časově a finančně náročné a investice by se pak nevyplatila. Varianta hlubinného vrtu by byla vhodná ale také příliš finančně náročná. V tomto projektu zvolím nejlevnější variantu a to tepelné čerpadlo vzduch-voda. Pro toto čerpadlo je vhodné místo pro jeho umístění vně domu přímo za technickou místností (tj. místnost 1.10). Na tomto místě nebude hluknost zařízení na obtíž. Propojení s rozvodem tepla bude pro montáž relativně levné, protože bude stačit propojení čerpadla přímo přes jednu zeď do technické místnosti, kde se nachází kotel, zásobník a přívod vody z veřejných zásob. Na trhu je již spousta čerpadel s modulací výkonu a jejich pořizovací cena je srovnatelná s cenou tepelných čerpadel, které pracují na principu zapnuto-vypnuto. Bude tedy rozumnější pro vytápění zvolit čerpadlo s modulací výkonu, které si reguluje automaticky výkon podle potřeby tepla.



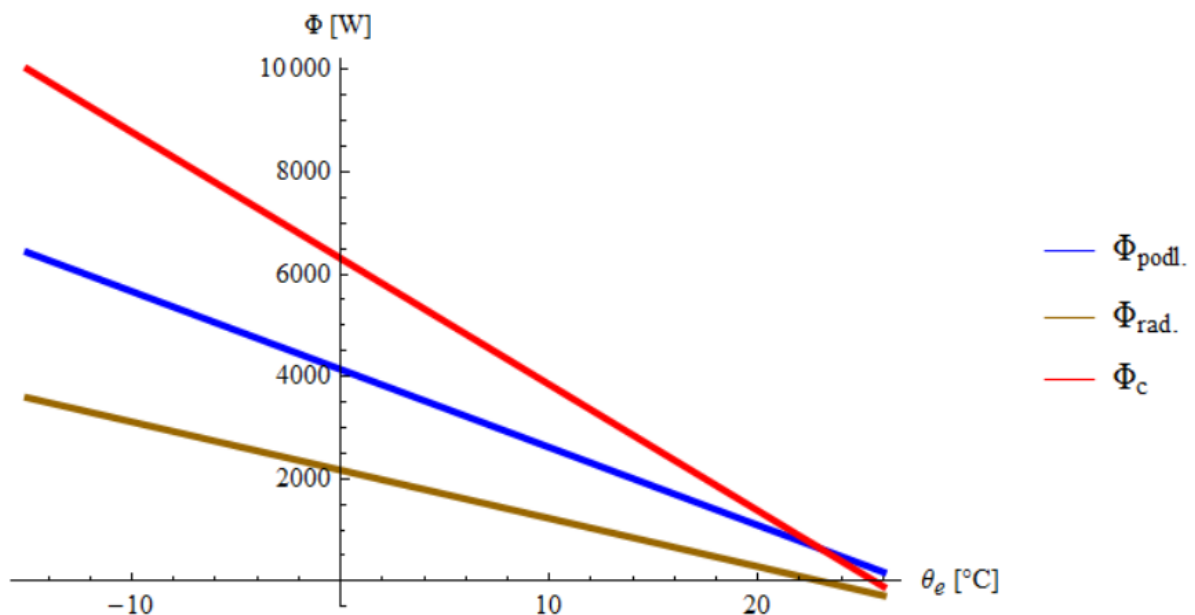
#### 4.3.2. Pokrytí ztrát

Radiátory v prvním okruhu pracují s velmi vysokou teplotou přívodní vody až 75 °C. Tepelná čerpadla bohužel nedokáží dosáhnout takovéto teploty. Jediná možnost je zapojit sériově jiný zdroj tepla s tepelným čerpadlem, tento zdroj by pak přehříval vodu na požadovanou teplotu. V objektu je zavedeno také podlahové vytápění v druhém okruhu, do kterého je přiváděna voda o teplotě kolem 40 °C. Nejvhodnější bude ponechat stávající zdroj pro přípravu TUV a pro vytápění prvního okruhu s radiátory. Pro okruh s podlahovým vytápěním bude vhodné využít tepelné čerpadlo, které bude pokrývat pouze ztráty místností s podlahovým vytápěním. Tepelné čerpadlo bude zároveň pracovat v paralelně bivalentním provozu. Při teplotách, kdy tepelné čerpadlo už nebude schopno pokrýt zmíněné ztráty, bude do tohoto okruhu dodáván potřebný výkon zajištěný bivalentním zdrojem, kterým je stávající zdroj (plynový kotel). Při výběru tepelného čerpadla je nutné zohlednit maximální ztráty pouze místností s podlahovým vytápěním. V následující tabulce jsou celkové ztráty rozděleny podle místností s typem vytápění (radiátory/podlahové vytápění).

Celkové ztráty	Ztráty místností radiátory	Ztráty místností podl. vytápěním
$\Phi_c$ [W]	$\Phi_{rad.}$ [W]	$\Phi_{podl.}$ [W]
10012	3586	6426

Tab. 5. Rozdělení tepelných ztrát objektu

Interpolací byly ztráty vyjádřeny jako funkce venkovní teploty, v následujícím grafu je vynesena tato závislost:



Obr. 13. Graf závislosti tepelných ztrát na teplotě



### 4.3.3. Popis tepelného čerpadla

Pro návrh bylo vybráno tepelné čerpadlo s modulací výkonu od firmy NIBE typu: NIBE SPLIT. Bude se pořizovat venkovní jednotka AMS 10–8 a vnitřní jednotka HBS 12. Výhodou je možnost doplnění příslušenství, jako nádrží na TUV v případě využití tepelného čerpadla na ohřev TUV nebo doplnit systém elektrokotlem při záměru změnit bivalentní zdroj. Informace o vybraném tepelném čerpadle jsou dostupné na následujícím odkazu:

<http://www.nibe.cz/cs/tepelna-čerpadla-vzduch-voda/tepelne-čerpadlo-nibe-split-s-plynulou-regulaci-vykonu>

Na CD je přiložen návod na instalaci a údržbu obsahující také potřebné technické a energetické parametry. Také je přiložen aktuální akční ceník firmy NIBE.

Základní energetické parametry potřebné pro výpočty jsou uvedeny v následující tabulce, která byla převzata ze zmíněného návodu na instalaci a údržbu:

#### Výkon, HBS 12 a AMS 10-8

Vytápění	Venk. tepl. /výstupní tepl.	Min.	Jmenovitý	Max.
Výstup/vstup/COP EN 14511 $\Delta T_{5K}$	7/35 °C (podlaha)	1,75/0,50/3,50	6,19/1,41/4,40	8,12/1,93/4,22
	2/35 °C (podlaha)	1,49/0,48/3,12	5,48/1,51/3,63	5,68/1,70/3,34
	-7/35 °C (podlaha)	1,04/0,45/2,31	4,04/1,45/2,79	5,17/1,84/2,81
	-15/35 °C (podlaha)	1,25/0,59/2,10	2,74/1,18/2,32	3,92/1,69/2,32
	7/45 °C	2,64/0,81/3,27	6,00/1,72/3,50	7,72/2,30/3,35
	2/45 °C	2,14/0,79/2,71	4,80/1,77/2,72	6,64/2,54/2,61
	-7/45 °C	1,46/0,75/1,95	3,74/1,64/2,28	5,17/2,35/2,20
	-15/45 °C	0,92/0,69/1,33	2,68/1,40/1,91	3,83/2,08/1,84
	7/55 °C	3,08/1,26/2,45	6,09/2,22/2,75	7,10/2,73/2,60
	-7/55 °C	1,88/1,14/1,65	3,33/2,00/1,66	4,25/2,44/1,74

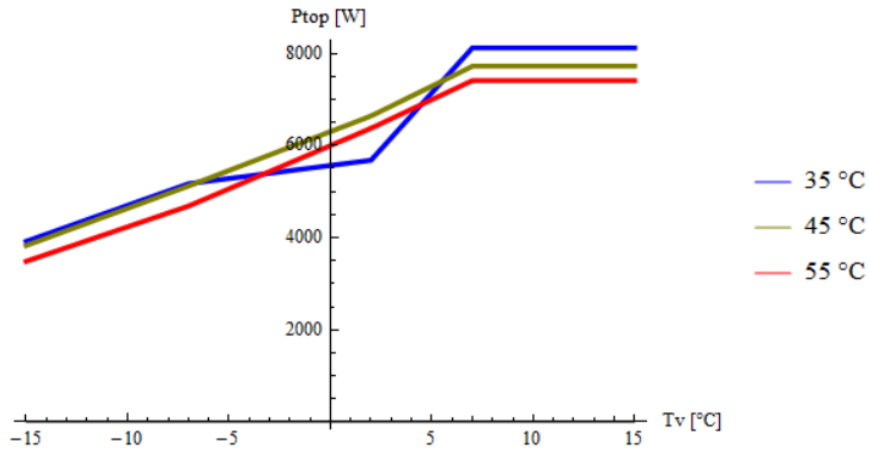
**Tab. 6. Energetické parametry NIBE SPLIT – HBS12 a AMS 10-8**

Pro veškeré výpočty a ověření funkčnosti vybraného tepelného čerpadla v daném systému je třeba si nejprve vytvořit závislosti topného výkonu, elektrického příkonu a topného faktoru na externí teplotě (při alespoň tří různých teplotách výstupní topné vody pro vytápění). Tyto průběhy jsou vypočítány interpolacemi z hodnot tabulky č. 6. Program s výpočty průběhů, který má název „Čerpadlo NIBE SPLIT“ je přiložen k této práci na CD. Na následující stránce jsou uvedeny výsledné průběhy.

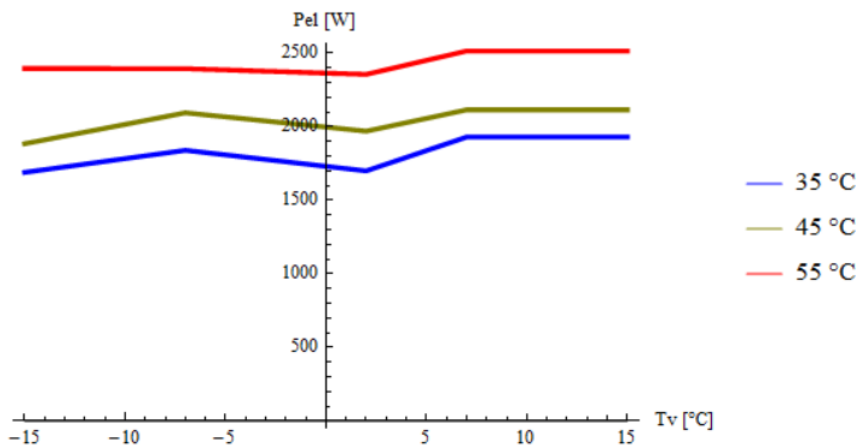




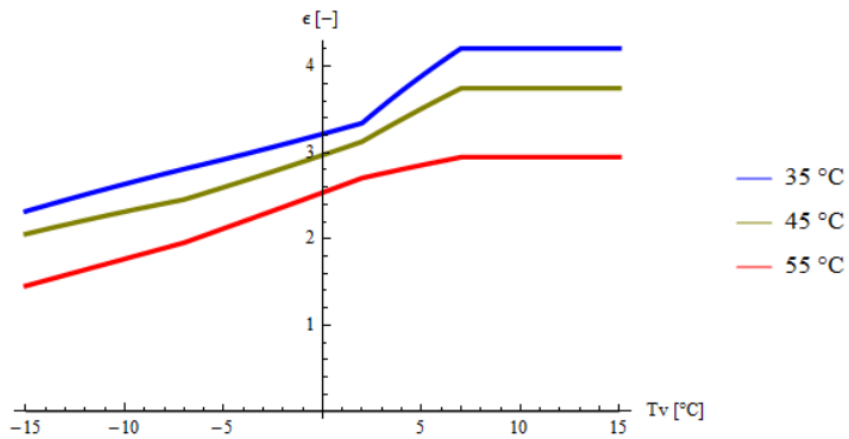
#### 4.3.4. Průběhy výkonu, příkonu a COP



Obr. 14. Topný výkon čerpadla NIBE



Obr. 15. Příkon čerpadla NIBE



Obr. 16. Topný faktor čerpadla NIBE

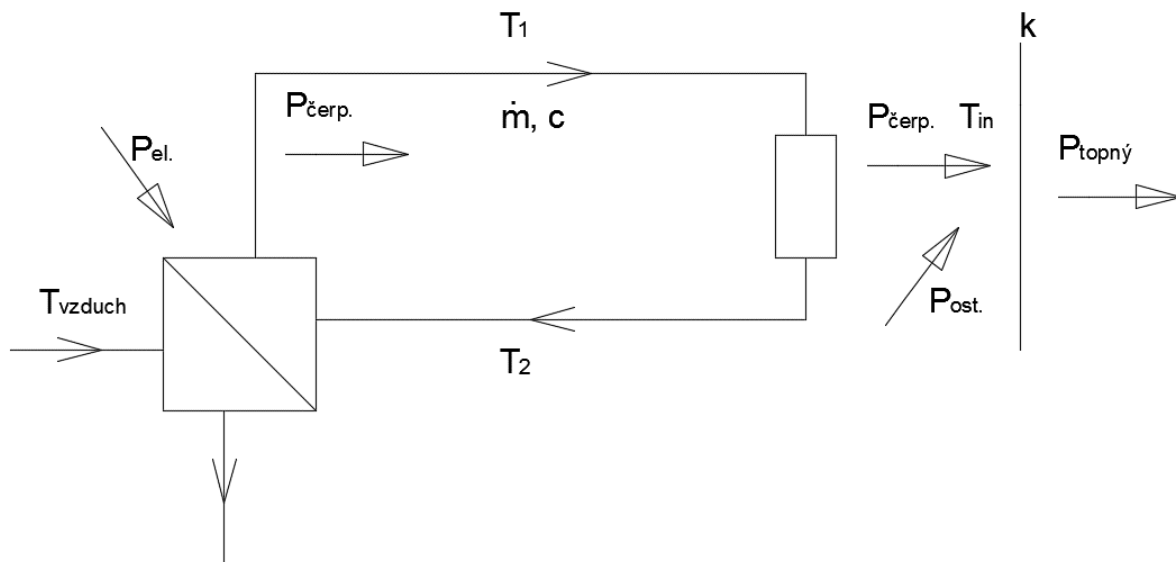


## 4.4. Matematický model

Pro výpočty spojené s dimenzováním a určení spotřeby elektrické energie na vytápění je vhodné vytvořit matematický model tepelného čerpadla. Popisuje chování systému při provozu tepelného čerpadla pro teploty v dané lokalitě, dále určuje celkovou potřebu tepla na vytápění, spotřebu energií a průměrný roční topný faktor. Tento model byl vytvořen ve spolupráci katedry elektroenergetiky a je přiložen na CD s názvem "Model".

### 4.4.1. Schéma

Zde je uvedené základní schéma, podle kterého byl model vytvořen. Za teploty označované  $T$  se bude považovat teplota v jednotkách  $^{\circ}\text{C}$  nikoli termodynamická teplota v jednotkách  $\text{K}$ .



Obr. 17. Schéma systému s TČ

Kde	$P_{el}$ [W]	Elektrický příkon tepelného čerpadla;
	$P_{čerp.}$ [W]	Topný výkon tepelného čerpadla;
	$P_{ost.}$ [W]	Topný výkon bivalentního zdroje;
	$P_{topný}$ [W]	Potřebný topný výkon pro pokrytí ztrát místností s podlahovým vytápěním;
	$T_{vzduch}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Teplota venkovního vzduchu;
	$T_{in}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Průměrná vnitřní teplota;
	$T_1$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Teplota přívodní vody;
	$T_2$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Teplota vratné vody;
	$c$ [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]	Měrná tepelná kapacita vody;
	$\dot{m}$ [ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	Hmotnostní průtok topné vody;



#### 4.4.2. Rovnice systému

V souladu se schématem jsou uvedeny všechny rovnice pro systém s tepelným čerpadlem.

Nejprve se z následujících dvou rovnic vypočítají konstantní parametry soustavy pro známý stav:

$$\dot{m} * c * (T_1 - T_2) = P_{topný} \quad (4.1)$$

$$P_{topný} = k * \left( \frac{T_1 + T_2}{2} - T_{in} \right) \quad (4.2)$$

Do rovnic (4.1), (4.2) se dosadí známé parametry:

$$\begin{aligned} P_{topný} &= 6000 \text{ W} \\ T_1 &= 45 \text{ °C} \\ T_2 &= 40 \text{ °C} \\ T_{in} &= 20 \text{ °C} \\ c &= 4186 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \end{aligned}$$

Vypočítané parametry dle rovnic (4.1), (4.2):

$$\begin{aligned} \dot{m} &= 0,287 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \\ k &= 266,7 \end{aligned}$$

Nyní jsou známé všechny konstantní parametry pro soustavu ( $\dot{m}$ ,  $k$ ,  $c$ ,  $T_{in}$ ).

Dále se vyjádří řešení rovnic systému v závislosti na venkovní teplotě  $T_{vzduch}$ . A to v případě, kdy tepelné čerpadlo pokrývá veškerou ztrátu a výkon bivalentního zdroje je nulový ( $P_{ost.} = 0$ ) dle rovnic (4.3), (4.4), (4.5).

$$\dot{m} * c * (T_1 - T_2) = P_{topný}[T_{vzduch}] \quad (4.3)$$

$$P_{topný}[T_{vzduch}] = k * \left( \frac{T_1 + T_2}{2} - T_{in} \right) \quad (4.4)$$

$$\text{COP}[T_{vzduch}, T_1] * P_{el} = P_{topný}[T_{vzduch}] \quad (4.5)$$

Poté je nutno určit hranici bivalence, což je teplota, kdy je maximální topný výkon čerpadla roven potřebnému topnému výkonu. V tomto případě se předchozí rovnice doplní o rovnici (4.6) a tím je možné spočítat všechny neznámé a stanovit tuto teplotu.

$$P_{čerp.}[T_{vzduch}, T_1] = P_{topný}[T_{vzduch}] \quad (4.6)$$

Řešením rovnice se stanoví hranice bivalence:

$$\begin{aligned} T_{vzduch} &= -6,75 \text{ °C} \\ P_{el} &= 2170 \text{ W} \\ T_1 &= 41,54 \text{ °C} \\ T_2 &= 37,23 \text{ °C} \end{aligned}$$



Vyjádří se řešení systému v závislosti na venkovní teplotě  $T_{vzduch}$ , kdy čerpadlo pracuje v paralelní bivalenci dle rovnic (4.7), (4.8), (4.9), (4.10).

$$\dot{m} * c * (T_1 - T_2) = P_{topný}[T_{vzduch}] \quad (4.7)$$

$$P_{topný}[T_{vzduch}] = k * \left( \frac{T_1 + T_2}{2} - T_{in} \right) \quad (4.8)$$

$$COP[T_{vzduch}, T_1] * P_{el} = P_{čerp.}[T_{vzduch}, T_1] \quad (4.9)$$

$$P_{čerp.}[T_{vzduch}, T_1] + P_{ost.} = P_{topný}[T_{vzduch}] \quad (4.10)$$

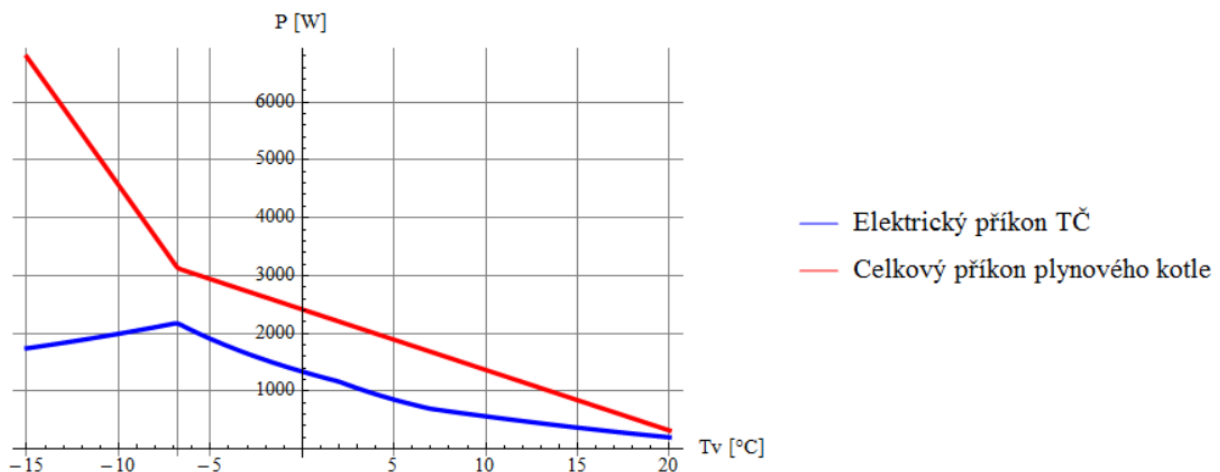
Pomocí všech těchto řešení se vyjádří elektrický příkon čerpadla jako funkce venkovní teploty  $P_{el}[T_{vzduch}]$  a výkon bivalentního zdroje také jako funkce venkovní teploty  $P_{ost.}[T_{vzduch}]$ .

Jelikož je potřeba také dodávat tepelný výkon do okruhu s radiátory, druhý zdroj tepla (stávající plynový kotel) pracuje nejen jako bivalentní zdroj pro tepelné čerpadlo, ale také jako hlavní zdroj pro okruhu s radiátory. Celkový příkon plynového kotle  $P_{ostC}[T_{vzduch}]$  se vyjádří podle (4.11).

$$P_{ostC}[T_{vzduch}] = \frac{P_{topnýR}[T_{vzduch}] + P_{ost.}[T_{vzduch}]}{\eta} \quad (4.11)$$

Kde  $P_{ostC}$  [W] Celkový příkon plynového kotle;  
 $P_{topnýR}$  [W] Potřebný topný výkon pro pokrytí ztrát místností s radiátory;  
 $\eta$  [-] Účinnost plynového kotle;

Výsledné funkce lze pro určitý interval teplot vyjádřit následujícím grafem.



Obr. 18. Provoz TČ při paralelní bivalenci



#### 4.4.3. Průběh teploty v roce

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Průměr. Roční
Teplota [°C]	-2,5	-1,2	2,4	6,7	11,7	15,0	16,5	15,8	12,5	7,8	2,4	-1,0	7,2

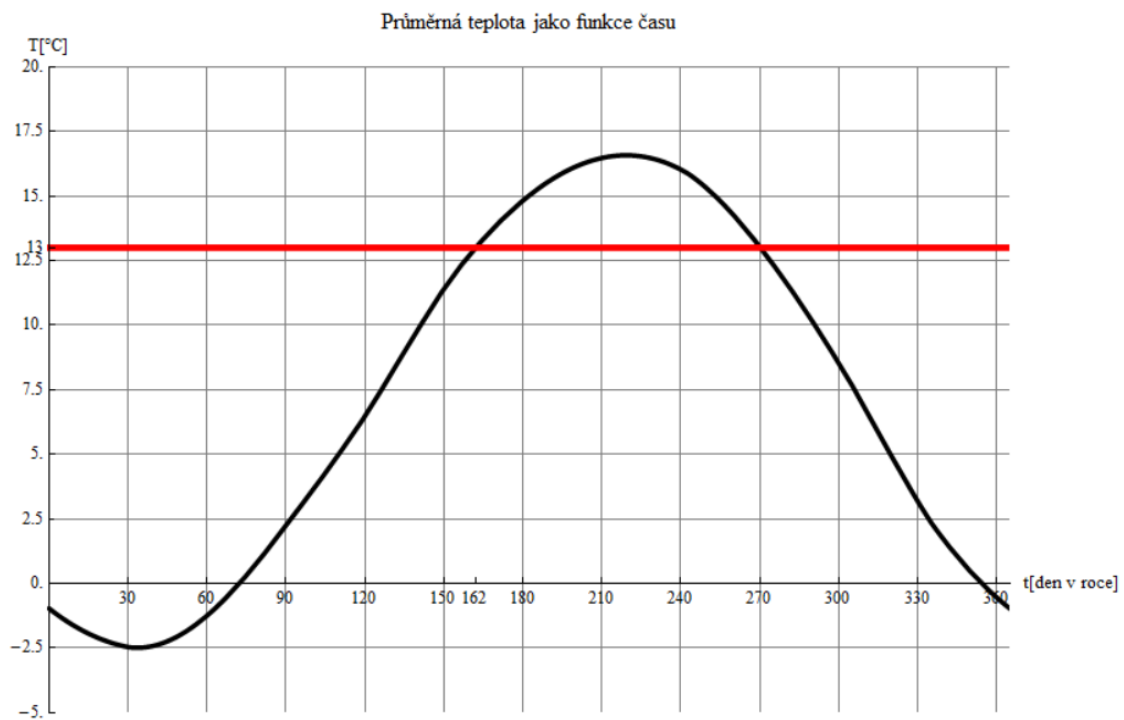
Tab. 7. Průměrné teploty v oblasti Cheb dle Českého hydrometeorologický ústavu.

Nejdříve je nutné interpolovat dostupná data teplot v závislosti na měsíci (tab. 7), poté vytvořit z těchto dat roční smyčku. Dále se z interpolovaných dat vypočte střední roční teplota. Průměrná teplota závislá na čase  $T[t]$  je dána vyjádřenou smyčkou, která je korigována dle vztahu (4.11).

$$T[t] = T_{sec}[t] + (T_{stř.} - T_{rok}) \quad (4.11)$$

Kde  $T_{sec}$  [°C] Průměrná nekorigovaná teplota v dané sekundě;  
 $T_{stř.}$  [°C] Vypočítaná střední roční teplota;  
 $T_{rok}$  [°C] Průměrná tabulková roční teplota (7,2 °C);

V poslední fázi se stanoví teplota, při které se zahajuje a končí topná sezóna (13 °C).



Počátek topné sezóny = 270 den v roce

Konec topné sezóny = 162 den v roce

Obr. 19. Výpočtový průběh teploty v závislosti na dni v roce



#### 4.4.4. Spotřeba tepla

Výsledná potřeba tepla a spotřeba energie za rok se vypočte integrací příslušného vyjádřeného výkonu, který je funkcí průběhu teploty  $T[t]$ , podle času a to dle rovnice (4.12);

$$\int_{t_{poc}}^{t_{kon}} P_x [T[t]] dt \quad (4.12)$$

Kde  $P_x$  [°W] Příslušný výkon ( $P_{topný}$ ,  $P_{topnýR}$ ,  $P_{el}$ ,  $P_{ost}$ ,  $P_{ostR}$ );  
 $t_{poc}$  [s] Čas, při kterém je zahájena topná sezóna;  
 $t_{kon}$  [s] Čas, při kterém je ukončena topná sezóna;

V následujících tabulkách jsou vypsány všechny vypočtené energie (potřeba tepla a spotřeba energie za jeden rok). Tab. 8. pro okruh s radiátory a okruh s podlahovým vytápěním. Tab. 9. pro vytápění před zařazením tepelného čerpadla do systému.

	Okruh s radiátory		Okruh s podlahovým vytápěním				Celkem	
	[GJ]	[kWh]	[GJ]		[kWh]		[GJ]	[kWh]
-								
Potřeba tepla	40,298	11 193	79,151		21 986		119,449	33 180
Zdroj	Plyn. kotel		Plyn. kotel		TČ		Celkem	
-	[GJ]	[kWh]	[GJ]	[kWh]	[GJ]	[kWh]	[GJ]	[kWh]
Spotřeba energie	44,825	12 451	0	0	23,036	6 399	67,861	18 850
COP ( $\eta$ )	0,90		3,44				1,76	

**Tab. 8. Potřeba tepla a spotřeba energie za rok**

	Vytápění bez TČ	
	[GJ]	[kWh]
-		
Potřeba tepla	119,449	33 180
Zdroj	Plyn. kotel	
-	[GJ]	[kWh]
Spotřeba energie	132,869	36 908
$\eta$ [-]	0,89	

**Tab. 9. Potřeba tepla a spotřeba energie za rok bez TČ**



## 5. Ekonomické zhodnocení

### 5.1. Úvod do ekonomického vyhodnocování

Ekonomické vyhodnocení se provádí z pohledu projektu, kde se posuzuje efektivnost vložených finančních zdrojů k uskutečnění projektu. K vyhodnocení je potřeba určení základní kritériálních ukazatelů a to konkrétně jsou:

- prostá doba návratnosti
- reálná doba návratnosti
- čistá současná hodnota toku hotovosti
- vnitřní výnosové procento

Nejprve je nutno určit tok hotovosti (Cash flow) ten se určí podle (5.1).

$$CF = U - N \quad (5.1)$$

Kde  $CF$  [Kč]      Cash flow;  
 $U$  [Kč]          Úspory;  
 $N$  [Kč]          Náklady spojené s dosažením úspor;

Náklady  $N$  se stanoví součtem všech náležitých položek. Úspory se stanoví jako rozdíl ročních provozních nákladů před a po realizaci projektu včetně případných změn tržeb za energii.

Kritériální ukazatel současné hodnoty čistého toku hotovosti se stanoví pomocí vztahu (5.2).

$$NPV = \sum_{t=0}^{T_h} CF_t * (1 + r)^{-t} \quad (5.2)$$

Kde  $CF_t$  [Kč]      Cash flow v daném roce;  
 $T_h$  [rok]          Doba hodnocení (životnost projektu);  
 $r$  [-]              Diskontní činitel;

Diskontní činitel slouží k přepočtu příjmů a výdajů ke stejnému časovému okamžiku a jejich vzájemnému porovnání. Výše diskontu  $r$  se odvíjí od výše investovaného kapitálu.

Prostá doba návratnosti  $T_s$  se vypočte dle vztahu (5.3).

$$T_s = \frac{IN}{CF} \quad (5.3)$$

Kde  $IN$ [Kč]          Investiční náklady;



Reálná doba návratnosti investice se vypočte z rovnice (5.4).

$$\sum_{t=0}^{T_{sd}} CF_t * (1 + r)^{-t} - IN = 0 \quad (5.4)$$

Kde  $T_{sd}$  [rok] Reálná doba návratnosti;

Vnitřní výnosové procento se vypočte z rovnice (5.5).

$$\sum_{t=0}^{T_h} CF_t * (1 + IRR)^{-t} - IN = 0 \quad (5.5)$$

Kde  $T_h$  [rok] Doba hodnocení (životnost projektu);  
 $IRR$  [-] Vnitřní výnosové procento;

## 5.2. Zhodnocení

### 5.2.1. Sazby

Pro vytápění tepelným čerpadlem je možno využívat sazbu D55, což je dvoutarifová sazba a doba platnosti nízkého tarifu je 22 hodin. Výpočtovou cenu elektrické energie pro tepelné čerpadlo je v daném regionu je cena 1,68 Kč/kWh elektrické energie bez DPH.

Cena za plyn je dána cenou za kWh, která vyjadřuje skutečné množství energie dodané plynem. Výpočtová cena plynu činí 1,41 Kč/kWh energie v plynu bez DPH.

### 5.2.2. Náklady

V následující tabulce jsou shrnuty všechny investiční náklady na projekt

	<b>Cena bez DPH</b>
AMS 10-8 Vnější jednotka NIBE SPLIT	54 000,-
HBS 11-12A Hydrobox 12	75 000,-
Montáž tepelného čerpadla topenářská včetně inst. Materiálu	34 000,-
Montáž elektro	9 000,-
Zemní práce a případné stavební úpravy	12 000,-
Uvedení do provozu	5 000,-
<b>Celkem</b>	<b>189 000,-</b>

**Tab. č. 10. Náklady na projekt**

První dvě položky týkající se tepelného čerpadla byly převzaty z akčního ceníku pro dané tepelné čerpadlo. Tento ceník je přiložen k této práci na CD. Zbylé položky byly pouze odhadnuty ale pro základní ekonomické zhodnocení budou ceny těchto položek dostačující.





### 5.2.3. Výsledné zhodnocení

Výpočtový program je přiložen na CD s názvem „Zhodnocení“.

Náklady na vytápění před investicí jsou dány pouze spotřebou plynu za rok. Náklady na vytápění po investici a instalaci tepelného čerpadla jsou dány spotřebou plynu za rok a také spotřebou elektrické energie za rok. Tab. č. 11 zobrazuje náklady na vytápění a úspory za jeden rok.

	Před investicí	Po investici
Plyn	52 040,-	17 557,-
El. Energie	0,-	10 750,-
Celkem	52 040,-	28 307,-
<b>Úspory</b>	<b>23 733,-</b>	

**Tab. č. 11 Roční náklady a úspory**

V následující tabulce jsou uvedeny výsledky ekonomického zhodnocení, a to pro životnost projektu kolem 20 let, pro diskontní činitel 4 %, růst cen energií 1,5 % za rok, úspory dle tab. č. 11 a investiční náklady dle tab. č. 10.

Cash flow	CF = 23 733 Kč
Prostá doba návratnosti	$T_s = 8$ let
Reálná doba návratnosti	$T_{ds} = 11$ let
Čistá současná hodnota toku	NPV = 297 913 Kč
Vnitřní výnosové procento	IRR = 8 %

**Tab. č. 12 Kriteriační ukazatelé**

Tok hotovosti je v tomto případě roven úsporám. Podle tab. č. 12 by se investovaný kapitál, po připojení tepelného čerpadla podle návrhu, měl vrátit za 8 let. Jakmile se započítá diskontovaný cash flow a růst cen energií, doba návratnosti stoupne až o 3 roky, tedy na 11 let. Do konce předpokládané životnosti kompresoru čerpadla je celková uspořené částka rovna 297 913 Kč.



## 6. Závěr

Cílem této práce bylo nejprve teoreticky seznámit s tepelně technickými výpočty, dále se podrobněji probrala tepelná čerpadla, jejich princip, způsob připojení, dimenzování a všechna možná úskalí s tím spojená. V praktické části jsem se zabýval návrhem, pro uvedený rodinný dům. Veškeré výpočty v rámci této práce byly provedeny v solveru: Wolfram Mathematica 9.0 Student Edition.

Tepelné ztráty budovy byly vypočteny v souladu s normou ČSN EN 12831. Celkové tepelné ztráty budovy činí 10002 W pro  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . V objektu je systém vytápění rozdělen na dva okruhy, přičemž první okruh vytápí radiátory v určitých místnostech a druhý okruh podlahové vytápění v dalších místnostech. Jelikož radiátorový okruh není uzpůsoben na vytápění tepelným čerpadlem, tepelné čerpadlo se využije pouze na okruhu s podlahovým vytápěním. Čerpadlo bude pokrývat tepelné ztráty místností s podlahovým vytápěním. Tyto ztráty činí 6426 W pro vnější teplotu  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Vytápění radiátorového okruhu bude zajišťovat i nadále stávající plynový kotel, který bude zároveň sloužit pro bivalenci s tepelným čerpadlem.

Pro návrh bylo vybráno tepelné čerpadlo NIBE SPLIT skládající se z vnitřní jednotky HBS 12 a vnější jednotky AMS 10–8. Toto čerpadlo umožňuje maximální výkon až 8 kW, což se může jevit jako zbytečně vysoký výkon. Zároveň umožňuje přizpůsobení výkonu potřebě tepla. Z dodaných technických dat bylo ověřeno, že tepelné čerpadlo má maximální topný faktor při jmenovitém výkonu, který se pohybuje od 3 – 6 kW. Po bližším prozkoumání bylo tedy zjištěno, že je pro projekt vhodné. Pomocí modelu systému s tepelným čerpadlem, který byl doplněn o vypočtená technická data čerpadla, proběhly všechny výpočty potřebné pro navrhovaný systém. Hranice bivalence pro systém je  $-6,75\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Potřeba tepla pro vytápění je za jednu otopnou sezónu 119 GJ. Spotřeba elektrické energie tepelného čerpadla za tuto sezónu činí 23 GJ, tj. 6,4 MWh. Spotřeba energie ukryté v plynu za tuto sezónu činí 44,8 GJ, tj. 1,2 MWh. COP navrženého systému je 1,76.

Výpočet ekonomických kritériálních ukazatelů naznačuje, že se projekt jeví jako výhodný. Doba návratnosti je 8 let, po započítání diskontu a růstu cen energií vychází až 11 let. Jelikož minimální předpokládaná doba životnosti projektu je 20 let, investice bude minimálně 9 let šetřit náklady na vytápění. Celkem lze tepelným čerpadlem ušetřit kolem 300 000 Kč. Náklady na tuto investici se pohybují kolem 189 000 Kč. Ovšem po konci životnosti tepelného čerpadla je možno pořídit pouze nové tepelné čerpadlo nebo jen jeho část. Náklady na zemní práce již nebudou potřeba a náklady na instalaci budou oproti prvotním nákladům zanedbatelné. Tedy další investiční náklady za 20 let budou nižší a to o minimálně 60 000 Kč. Tudíž lze předpokládat, že se při další investici zkrátí doba návratnosti a vzroste čistá současná hodnota toku. Tepelné čerpadlo je pro projekt vhodné a doporučuje se tuto investici uskutečnit. V budoucnu také lze toto čerpadlo doplnit o zařízení, které umožní ohřev TUV. Pro projekt byla vyzkoušena i jiná čerpadla s podobnými parametry, ta vycházela velmi podobně, ne-li hůře a to převážně z důvodů vyšších investičních nákladů.



## 7. Použité zdroje

- [1] ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo: [návratnost i za jeden rok]*. Přerov: Antonín Žeravík, 2003. ISBN 80-239-0275-X.
- [2] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. *Tepelná čerpadla. 2., aktualizované vydání*. Brno: ERA, 2007. ISBN 978-80-7366-089-5.
- [3] TINTĚRA, Ladislav. *Tepelná čerpadla*. Praha: ARCH, 2003. ISBN 80-86165-61-2.
- [4] MEČÁRIK, Karol, Belo FÜRI a Václav HAVELSKÝ. *Tepelné čerpadlá*. Bratislava: Alfa, 1988. Edícia energetickej literatúry (Alfa).
- [5] HRADÍLEK, Zdeněk, Ilona LÁZNIČKOVÁ a Vladimír KRÁL. *Elektrotepebná technika*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04938-9.
- [6] RADA, Josef. *Elektrotepebná technika: vysokoškolská příručka pro elektrotechnické fakulty vysokých škol technických*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985.
- [7] ČSN EN ISO 13790: *Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení*. Praha 2: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [8] ČSN EN 12831: *Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu*. Praha 2: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [9] Výpočet tepelných ztrát. In: *TZB: ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV* [online]. Brno: Ústav technických zařízení budov [cit. 2015-12-27]. Dostupné z: [http://www.fce.vutbr.cz/TZB/treu-ova./ST51/2\\_Ztraty\\_theorie.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/TZB/treu-ova./ST51/2_Ztraty_theorie.pdf)
- [10] Slajdy: Fyzika 2 pro EEM. In: *Katedra Fyziky* [online]. Praha 6: ČVUT Fakulta elektrotechnická [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: <http://fyzika.feld.cvut.cz/~konicek/F2-EEM/slajdy-f2-EEM.html>
- [11] Specifikace tepelných čerpadel pro využití v TZB. *Časopis stavebnictví* [online]. 2007, (11-12/07), 4 [cit. 2016-03-08]. Dostupné z: [http://www.casopisstavebnictvi.cz/specifikace-tepelných-čerpadel-pro-vyuziti-v-tzb\\_N517](http://www.casopisstavebnictvi.cz/specifikace-tepelných-čerpadel-pro-vyuziti-v-tzb_N517)
- [12] Tepelná čerpadla: Vytápění tepelným čerpadlem. In: *EKOMPLEX instalatérů* [online]. [cit. 2016-03-08]. Dostupné z: <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/tepelna-čerpadla.php>
- [13] 4 + 1 rada pro výběr tepelného čerpadla. *REMKO* [online]. [cit. 2016-03-08]. Dostupné z: <http://www.remko.cz/rady-pro-vyber-tepelneho-čerpadla>
- [14] *TZB-info: Technické zařízení budov - stavebnictví, úspory* [online]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/>
- [15] *Český hydrometeorologický ústav* [online]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/>
- [16] *PZP: Tepelná čerpadla* [online]. Dostupné z: <http://www.tepelna-čerpadla-pzp.cz/>
- [17] *NIBE: Tepelná čerpadla* [online]. Dostupné z: <http://www.nibe.cz/>



## 8. Seznam tabulek

- Tab. 1. Hodnoty metabolismu
- Tab. 2. Doporučená teplota v místnostech
- Tab. 3. Tepelné ztráty objektu
- Tab. 4. Součinitele prostupu tepla konstrukcí
- Tab. 5. Rozdělení tepelných ztrát objektu
- Tab. 6. Energetické parametry NIBE SPLIT – HBS12 a AMS 10-8
- Tab. 7. Průměrné teploty v oblasti Cheb dle Českého hydrometeorologický ústavu
- Tab. 8. Potřeba tepla a spotřeba energie za rok
- Tab. 9. Potřeba tepla a spotřeba energie za rok bez TČ
- Tab. 10. Náklady na projekt
- Tab. 11. Roční náklady a úspory
- Tab. 12. Kriteriaální ukazatelé

## 9. Seznam obrázků

- Obr. 1. Prostup tepla konstrukcí
- Obr. 2. Tepelný stroj s inverzním cyklem
- Obr. 3. Carnotův cyklus teoretického tepelného čerpadla
- Obr. 4. Schéma tepelného čerpadla
- Obr. 5. Instalace tepelných čerpadel
- Obr. 6. Tepelné čerpadlo typu země-voda
- Obr. 7. Připojení TČ k otopnému systému využitím akumulární nádrže
- Obr. 8. Zapojení TČ pro ohřev TUV
- Obr. 9. Monovalentní provoz
- Obr. 10. Alternativně-bivalentní provoz
- Obr. 11. Paralelně-bivalentní provoz
- Obr. 12. Částečně paralelně-bivalentní provoz
- Obr. 13. Graf závislosti tepelných ztrát na teplotě
- Obr. 14. Topný výkon čerpadla NIBE
- Obr. 15. Příkon čerpadla NIBE
- Obr. 16. Topný faktor čerpadla NIBE
- Obr. 17. Schéma systému
- Obr. 18. Provoz TČ při paralelní bivalenci
- Obr. 19. Výpočtový průběh teploty v závislosti na dni v roce



## 10. Seznam příloh

- P. 1. Půdorys prvního patra
- P. 2. Půdorys druhého patra
- P. 3. Bokorys z jižní strany
- P. 4. Bokorys ze západní strany
- P. 5. Notebook s výpočtem ztrát „Ztraty“ (CD)
- P. 6. Notebook s výpočtem průběhů TČ „Cerpadlo NIBE SPLIT“ (CD)
- P. 7. Notebook s modelem TČ „Model“ (CD)
- P. 8. Notebook s výpočtem ekonomických ukazatelů „Zhodnocení“ (CD)
- P. 9. NIBE\_SPLIT\_HBS\_12\_Navod\_k\_Instalaci (CD)
- P. 10. akcni-cenik (CD)