

**České vysoké učení technické v Praze**

---

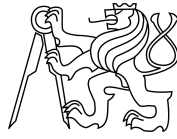
Fakulta elektrotechnická

K13115 - katedra elektroenergetiky

Tepelná čerpadla v moderních obytných budovách

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Daniel Krysl  
Praha 2017



**Czech technical university in Prague**

---

Faculty of Electrical Engineering

K13115 - department of electroenergetics

Heat pumps in modern living houses

**DIPLOMA THESIS**

Daniel Krysl  
Prague 2017

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Krysl** Jméno: **Daniel** Osobní číslo: **406141**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Studijní obor: **Elektroenergetika**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Tepelná čerpadla v moderních obytných budovách**

Název diplomové práce anglicky:

**Heat Pumps in Moder Living Houses**

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou sdílení tepla v budovách, tepelných čerpadel a výpočty spotřeby energie na vytápění
2. Ve vhodném programovacím prostředí vytvořte nástroj určující potřebu tepla na základě fyzikálních principů a normovaných metod
3. Výsledky aplikujte na moderní pasivní budovu a kvalitní tepelné čerpadlo
4. Zhodnoťte ekonomiku nasazení tepelného čerpadla

Seznam doporučené literatury:

- [1] Karel Brož: Vytápění, Skriptum ČVUT, Praha 2007
- [2] <http://www.tzb-info.cz/>
- [3] ČSN EN ISO 13789
- [4] ČSN EN ISO 13790

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**doc. Dr. Ing. Jan Kyncl, katedra elektroenergetiky FEL**

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

Datum zadání diplomové práce: **16.02.2017** Termín odevzdání diplomové práce: **26.05.2017**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2018**

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové 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 25. května, 2017

Podpis .....



## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce Doc. Dr. Ing. Janu Kynclovi za vedení, rady a podporu při zpracování práce. Také bych rád poděkoval firmě Energocentrum plus s.r.o. za poskytnutí materiálů a prostředků pro zhotovení práce, konkrétněji Jiřímu Zikmundovi a Ing. Petru Kuderovi za podporu a ohleduplnost.

V neposlední řadě bych rád poděkoval rodině za podporu a trpělivost.

## Abstrakt

Cílem této práce je seznámit čtenáře se základní problematikou teorie sdílení tepla, teorie tepelných čerpadel a s výpočty tepelné potřeby budovy. Za pomoci těchto teoretických informací pak dopočítat náročnost klasické budovy a eventuálního nasazení tepelného čerpadla s ekonomickou analýzou.

**Klíčová slova** Tepelné čerpadlo, termodynamika, teplo, proudění, vedení, sálání, výpočet ztrát budovy, dimenzování otopného zdroje, nasazení tepelného čerpadla, ekonomické zhodnocení.

## Summary

The aim of this work is to familiarize the reader with heat transfer theory, heat pump theory, and calculation of energy needs for heating of buildings. Based on the theoretical knowledge, we calculate the energy use intensity of a general building and potential use of heat pump with economic analysis.

**Key words** Heat pump, thermodynamics, heat, convection, conduction, radiation, calculation of building losses, dimensioning of heating source, heat pump application, economic evaluation.



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KRYSL, Daniel. Tepelná čerpadla v moderních obytných budovách. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, 2017.78 s. Vedoucí práce: Doc. Dr. Ing. Jan Kyncl.

# Obsah

0.1 Úvod . . . . .	12
<b>I Základy z teorie tepla</b>	<b>13</b>
<b>1 Teorie tepla</b>	<b>13</b>
1.1 Základní pojmy . . . . .	13
1.2 Možnosti sdílení tepla . . . . .	16
1.3 Důležité zákony . . . . .	19
<b>II Termodynamika</b>	<b>20</b>
<b>2 Základní pojmy</b>	<b>20</b>
2.1 Teplota, nultý termodynamický zákon . . . . .	20
2.2 Klimatické podmínky . . . . .	21
2.3 První termodynamický zákon . . . . .	24
2.4 Druhý termodynamický zákon . . . . .	24
<b>3 Carnotův cyklus</b>	<b>25</b>
3.1 Kruhový děj . . . . .	25
3.2 Carnotův cyklus . . . . .	25
3.3 Carnotův reverzní cyklus . . . . .	26
<b>III Tepelná čerpadla a jejich součásti</b>	<b>29</b>
<b>4 Výměník</b>	<b>29</b>
4.1 Obecně . . . . .	29
4.2 Typy konstrukcí . . . . .	29
4.3 Model výměníku . . . . .	30
<b>5 Tepelné čerpadlo</b>	<b>31</b>
5.1 Obecně . . . . .	31
5.2 Historie . . . . .	31
5.3 Princip a konstrukce . . . . .	31
5.4 Základní typy . . . . .	34
5.5 Provozní stavy . . . . .	36
5.6 Model tepelného čerpadla . . . . .	37

<b>IV</b>	<b>Vytápění budov</b>	<b>41</b>
<b>6</b>	<b>Tepelná pohoda</b>	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>Otopné soustavy</b>	<b>42</b>
7.1	Obecně . . . . .	42
7.2	Základní parametry budov . . . . .	43
<b>V</b>	<b>Parametry a zhodnocení projektu</b>	<b>53</b>
<b>8</b>	<b>Popis příkladových součástí</b>	<b>53</b>
8.1	Pasivní budova . . . . .	53
8.2	Tepelné čerpadlo . . . . .	58
<b>9</b>	<b>Ekonomické zhodnocení</b>	<b>60</b>
9.1	Základní pojmy . . . . .	60
9.2	Ceny energií . . . . .	62
9.3	Dotace . . . . .	62
<b>10</b>	<b>Závěrečné vyhodnocení</b>	<b>63</b>
10.1	Návratnost . . . . .	63
10.2	Zhodnocení tepelných čerpadel . . . . .	63
<b>VI</b>	<b>Zdroje, přílohy a seznamy</b>	<b>I</b>
<b>11</b>	<b>Literární zdroje</b>	<b>I</b>
<b>12</b>	<b>Seznamy</b>	<b>VI</b>
<b>13</b>	<b>Příloha A</b>	<b>IX</b>
13.1	Vysvětlení zadávání hodnot do programu . . . . .	IX
13.2	Program Wolfram Mathematica 8 . . . . .	IX
<b>14</b>	<b>Příloha B</b>	<b>XV</b>
14.1	Stavební materiály . . . . .	XV
14.2	Korekční hodnoty a konstanty pro výpočet . . . . .	XVII

## 0.1 Úvod

Ve vyspělých zemích je samozřejmostí jistota tepla v zimních měsících. Toto teplo je možné získávat různými možnostmi a zařízeními. Tyto zařízení mohou vyrábět teplo lokálně přímo v budově, nebo externě v teplárně. Hodnota potřeby tepla je pak dána vlastnostmi budovy a místními požadavky (klimatem, obyvatelstvem a jině). Existují různé dotační programy pro snižování energetické náročnosti budovy, které dokážou snížit právě potřebu tepla. Tím se úměrně sníží i vznik lokálních emisí a finanční zátěž provozovatele.

Někdy se ovšem setkáme i s potřebou chladících systémů, které poskytují příjemné prostředí i v období vysokých teplot. Tyto systémy jsou buď velké chladící zařízení, nebo také tepelná čerpadla s možností otočení cyklu. Právě tato vlastnost je vhodná do mírných podnebných pásů, kde se dnes střídají rekordy z obou stran teplotní stupnice. Potřeba chladu není už tak luxusní požadavek jak tomu bývalo. Čím dál více lze pozorovat zástavby osazené právě systémy, které mohou vytvářet i chlad. Vše má ovšem svá úskalí.

Následující práce ze začátku rozebírá teoretické otázky ohledně sdílení tepla a termodynamiky, které jsou potřebné pro pochopení cílů práce. V závěrečných kapitolách je popsán příkladový pasivní dům, na kterém počítáme měrné tepelné ztráty. Pomocí těchto ztrát lze pak dopočítat potřebu tepla a následně zhodnotit nasazení tepelného čerpadla, či jiného zdroje. Samotný cíl práce je odpovědět na otázky jestli se na danou budovu hodí tepelné čerpadlo a popřípadě kdy se investice zaplatí. Tato práce vznikla z iniciativy lidí, které právě zajímají tepelná čerpadla na reálných budovách a nevědí, zda je tato investice výhodná. Právě hlavně na tuto otázku se budeme snažit najít odpověď.

## Část I

# Základy z teorie tepla

Následuje kapitola s teorií tepla, pro jednoduchý přehled problematiky.

## 1 Teorie tepla

Tato kapitola pojednává o základních tepelných procesech. Budou zde probrány základní fyzikální principy chování a problematika týkající se tepla. Téma je obsáhlé a pro lepší poznání doporučuji M. A. Michejev: Základy sdílení tepla, SPN 1952.

### 1.1 Základní pojmy

Následující podkapitola se zabývá definováním teoretických pojmů.

#### 1.1.1 Součinitel tepelné vodivosti

Součinitel tepelné vodivosti charakterizuje tepelnou vodivost. Tyto pojmy bývají často slučovány. Tepelná vodivost představuje schopnost daného materiálu nebo látky vést teplo svojí strukturou (kondukcí) od teplejší ke studenější části. Součinitel tepelné vodivosti popisuje kolik tepla projde skrz dané těleso o délce  $l$  při jednotkové průřezu a spádu v jednom směru osy. Jde tedy o měrnou tepelnou vodivost. Spád lze popsat jako pokles na dané délce, kde pro obyčejnou stěnu se jedná o lineární závislost. Označuje se písmenem  $\lambda = (Wm^{-1}K^{-1})$ . Výpočet  $\lambda$  pomocí měrného tepelného odporu  $R_{th}$  a tloušťky  $d$ :

$$\lambda = \frac{d}{R_{th}} \quad (1)$$

Zajímavostí je, že do výpočtů se součinitel tepelné vodivosti udává jako konstanta. Ovšem jeho závislost není nejen na teplotě<sup>1</sup>, ale třeba i na vlhkosti a tloušťce. U některých typů izolací záleží dokonce na struktuře, kde například extrudovaný polystyrén má lepší parametry uprostřed a směrem ke krajům se zhoršují. Tepelnou vodivost lze přirovnat například k elektrické vodivosti. [1],[2]

#### 1.1.2 Emisivita

Popisuje schopnost tělesa vyzařovat teplo a je to bezrozměrná veličina. Její označení je  $\varepsilon = (-)$ . Je závislá na více parametrech jako je např. povrch tělesa, úhel nebo vlnové délce. Její výpočet lze provést pomocí poměru vyzařování k dokonale černému tělesu při stejné teplotě. [2],[3]

$$\varepsilon = \frac{H_{T\check{E}LESO}}{H_{BLACK}} \quad (2)$$

---

<sup>1</sup>S vyšší teplotou lépe vede

### 1.1.3 Součinitel přestupu tepla

Součinitel přestupu tepla je nejčastěji označován  $\alpha = (Wm^{-2}K^{-1})$  nebo také v anglických publikacích lze najít pod označením  $h_k$ . Součinitel přestupu tepla je vztažen k ploše  $S$ , kdy jde o množství tepla přeneseného za čas při spádu o 1K mezi tekutinou  $t_1$  a tělesem  $t_{tel}$ . Z Fourierova zákona můžeme vypočítat množství sdíleného tepla stykem.

$$Q = -\lambda \int grad t_1 dS \quad (3)$$

Praktičtější význam má Newtonův tvar, který nám eliminuje teplotní gradient podle plochy  $S$ .

$$Q = \alpha S(t_1 - t_{tel}) \quad (4)$$

Pro dosažení je nutno získat součinitel přestupu tepla<sup>2</sup>, který lze například odvodit z laminární vrstvy (okrajová), kde se teplo přenáší vedením. Následným diferencováním, spojením první a druhé rovnice a vyjádřením  $\alpha$  získáme diferenciální rovnici přestupu tepla:

$$\alpha = -\frac{\lambda}{\Delta t} \frac{\partial t}{\partial \eta} \quad (5)$$

Další možností stanovení součinitele přestupu je pomocí diferenciální rce vedení tepla. Ta je odvozena od Fourierova z. a ZZE<sup>3</sup>. Vychází se z elementárního kvádříku v systému  $x, y, z$  kde pro každý směr je dáno:  $dQ_x = Q_{xPRED} - Q_{xZA} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx dy dz dt$ . Sečtením a dosazením v jednotlivých směrech:

$$dQ = \lambda \left[ \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right] dx dy dz dt \quad (6)$$

Tepelný přírůstek za čas  $d\tau$  o hodnotu  $\frac{Dt}{dx} d\tau$  zapříčiní nárůst energie o  $dQ$ , tedy

$$dQ = xy \frac{Dt}{d\tau} dx dy dz d\tau \quad (7)$$

Porovnáním rovnic (6) a (7) s vyjádříme členu  $\frac{Dt}{d\tau}$  vzniká Fourier-Kirchhoffova rovnice vedení tepla:

$$\frac{Dt}{d\tau} = \frac{\lambda}{\rho c} \left[ \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right] \quad (8)$$

Využijem Laplaceova operátoru<sup>4</sup>, jež je definován jako divergence gradientu skalárního pole:  $\Delta = \nabla^2 = \text{div grad}$ . Potom tvar Fourier-Kirchhoffovy rovnice lze psát takto: [1], [2], [4]

$$\frac{Dt}{d\tau} = a \nabla^2 t \quad (9)$$

<sup>2</sup>Je bohužel závislí na bezpočtu parametrů:  $\alpha = f(l, t, \mu, \lambda \text{ atd.})$ . Lze tedy měřit, nebo zjednodušovat.

<sup>3</sup>Při zanedbání platí ZZE: „Množství přivedeného tepla je úměrné změně tepelné energie daného tělesa“.

<sup>4</sup>N-rozměrná platnost. Např. pro trojrozměrný prostor:  $\Delta = \left[ \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right]$ .

### 1.1.4 Měrný tepelný odpor

Měrný tepelný odpor<sup>5</sup> se v praxi označuje  $R_{th}$  a jeho jednotka je ( $m^2 K W^{-1}$ ). Jeho praktický vliv je při určování součinitele prostupu tepla (viz níže), kde se pomocí jeho převrácené velikosti určí parametry složeného prvku. Samotný tepelný odpor lze stanovit výpočtem z tloušťky daného materiálu  $d$  a jeho součinitele tepelné vodivosti  $\lambda_1$ . Podrobný výpočet lze najít v ČSN EN ISO 6946.

$$R_{th} = \frac{d_1}{\lambda_1} \quad (10)$$

Lze také nechat daný materiál proměřit u specializovaných firem, jako je například RTI Haasová z Klatov. Tyto měření provádějí akreditované laboratoře podle příslušných norem. Jak je ovšem vidno, stěny domů či rámy oken, se neskládají pouze z jednoho prvku. Ve všech případech se jedná o *n-prvkový* systém, který je složen z  $n$  materiálů s různými tepelnými odpory  $R_{th_i}$ . Výsledný odpor není těžké určit, jedná se totiž o jednoduchý součet: [1],[2]

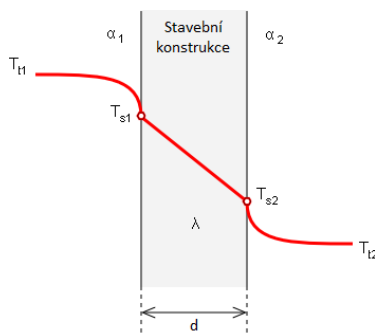
$$R_{th_{CELK}} = \sum_1^n R_{th_i} \quad (11)$$

### 1.1.5 Součinitel prostupu tepla

Pro tento parametr je zavedené písmeno  $U = (W m^{-2} K^{-1})$  a je hojně využíván při popisu stavebních částí. Dalším možným označením je písmeno  $k$ . Součinitel prostupu tepla odráží tepelné ztráty daného prvku za ustáleného stavu. Jde o proces skrz zkoumanou konstrukci, který je popsán tepelným odporem  $R_{th} = (W^{-1} m^2 K)$  a to nejen při prostupu materiálu, ale také při přestupu do přilehlého okolí.

$$U = \frac{1}{R_1 + \sum R_i + R_2} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (12)$$

Jednoduchý příklad<sup>6</sup> je na obrázku - kdy dochází k přestupu  $\alpha_1$  z prostředí 1, následnému prostupu stavební konstrukcí o šířce  $d$  a nakonec přestupu  $\alpha_2$  do prostředí 2.



Obrázek 1: Průběh teploty u jednoduché stavební konstrukce, [O1]

<sup>5</sup>Lze dohledat i tepelný odpor, který se udává v ( $K W^{-1}$ ). Pro nás je důležitější měrný.

<sup>6</sup>Musí být splněn požadavek tepelného spádu, tedy  $T_{t1} > T_{t2}$

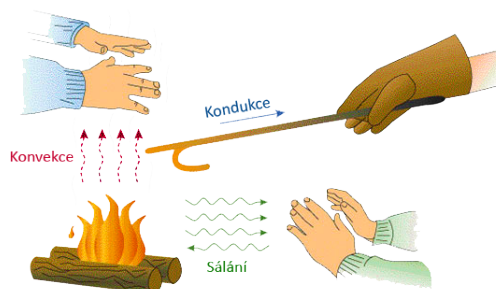
Tento parametr kvantifikuje konkrétní zkoumanou konstrukci. Z normy ČSN 73 0540-2 lze vyčíst tabulku na různé typy konstrukce a její nároky na součinitel prostupu tepla. Využití je jako jakýsi kvalitativní parametr, kterým lze definovat tepelnou „pasivaci“ budovy. Je tedy snaha tento koeficient minimalizovat. [2],[5],[6]

Konstrukce	Požadovaný $U_{N,20}$	Doporučený $U_{R,20}$	$U_{P,20}$ pro pasivní dům
Vnější stěna	0,30	0,25	0,18 až 0,12
Střecha nad 45°	0,30	0,20	0,18 až 0,12
Strop k neobydlené půdě	0,30	0,25	0,15 až 0,10
Sdílená stěna budov	1,05	0,70	0,50

Tabulka 1: Součinitel prostupu tepla. [T1]

## 1.2 Možnosti sdílení tepla

Následující podkapitoly popíší základní možnosti sdílení tepla, pro pochopení slouží následující obr.



Obrázek 2: Konvekce, sálání a vedení tepla. [O2]

### 1.2.1 Kondukce (vedení)

Při kondukci dochází k výměně tepla mezi částicemi, kde částice s nižší kinetickou energií získá energii od částice s vyšší kinetickou energií. Tento děj je dán tepelným pohybem<sup>7</sup> uvnitř látky, nebo při vzájemném styku. Jelikož je pohyb chaotický, tak musí docházet k náhodným srážkám, kdy právě tyto srážky způsobí transformaci energie. Pomocí tohoto procesu těleso míří k tepelné rovnováze.

Kondukce tedy popisuje šíření tepla v tuhých tělesech. Podmínka šíření je, aby se těleso nenacházelo v tepelné rovnováze. Pak dochází při styku dvou ploch k přestupu tepla směrem od teplého k chladnějšímu tělesu. Pomocí vedení tepla můžeme rozdělit materiály do dvou skupin na Vodiče a Izolanty. Z názvu laicky plyne, že vodiče vedou a izolanty vedou „o něco hůře“, až zanedbatelně. Typické využití tepelných vodičů je pro chladiče, kdežto typické využití pro tepelné izolanty je pro zateplení budov. [1], [2], [7]

$$P_{th} = \frac{\Delta T}{R_{th}} \quad (13)$$

<sup>7</sup> Tepelný pohyb teoreticky vymizí při absolutní nule.



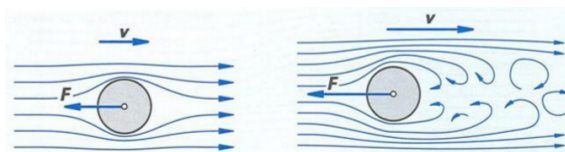
## 1.2.2 Konvekce (proudění)

Půjde o látky u kterých se uplatní proudění, tedy o kapaliny a plyny. Proudění může být dvojího charakteru: volné a nucené. Volné je, když je pohyb vyvolán různou teplotou látky a k promíchání dochází samovolně. Nucené proudění bude takové, kdy médiu pomáháme k pohybu prací.

Proudění je závislé na nezměrném množství činitelů. Ať už se bavíme od prosté geometrii „kanálu“ nebo jeho drsnosti, až po dané medium a jeho samotné vlastnosti. Při proudění media v uzavřeném tubusu dochází ke kombinaci konvekce a kondukcce zároveň. [1], [2]

$$P_{th} = S\alpha\Delta T \quad (14)$$

**Laminární a turbulentní proudění** Proudění u plynů a kapalin lze dělit na laminární a turbulentní proudění. Bavíme-li se o laminárním proudění, tak popisujeme takový děj, kdy se částice daného media pohybují rovnoběžně vůči tubusu nádoby, ve kterém jsou uzavřeny. Na turbulentní proudění přechází tehdy, jakmile střední průtočná rychlost<sup>8</sup> dojde ke své kritické hodnotě. Tato kritická hodnota se dá vypočítat a závisí na mnoha faktorech. Je nutné si ale uvědomit, že i když mluvíme o turbulentním proudění jako o neuspořádaném pohybu částic, jistém chaotismu, tak pořád zde vzniká úzká vrstva u styku s nádobou, kdy tato vrstva vykonává laminární proudění. Laminární vrstvička je velice tenká a přilnutá k povrchu nádoby a její tloušťka je nepřímo úměrná střední průtočné rychlosti, tedy čím vyšší rychlost, tím menší vrstva.



Obrázek 3: Laminární a turbulentní proudění, [O3]

V praxi rozdíl mezi laminárním a turbulentním prouděním popisuje Reynoldsovo číslo, t mez činí 2300. Uvedeme si jednoduchý výpočet Reynoldsova čísla, pro lepší představu.

$$Re = \frac{vr}{\nu} \quad (15)$$

,kde  $v$  je rychlost proudění,  $r$  poloměr trubky,  $\nu = \frac{\eta}{\rho}$  je kinematická viskozita, kde  $\rho$  je hustota media,  $\eta$  součinitel viskozity (vazkost).

Je zjevné, že druh proudění bude mít vliv na sdílení tepla. Při laminárním proudění přechází teplo především pomocí kondukcce a záleží na vodivosti daného media a nádoby. Naopak u turbulentního se bavíme především o malinkaté laminární mezní vrstvě, která nám udává hlavní přestup tepla. Ovšem díky chaotismu jádra dochází k rovnoměrnému promíchání kapaliny, tedy lepšímu rozložení. [8]

<sup>8</sup>Jedná se o zprůměrovanou rychlost.

### 1.2.3 Radiace (sálání)

Světlo chápané jako elektromagnetické vlnění obsahuje velkou škálu záření<sup>9</sup>. Z této škály můžeme vybrat jistou část, která při dopadu na objekt vytvářejí teplo. Pro tuto vlastnost je nazýváme tepelnými paprsky a největší producenti tepla z celého spektra jsou viditelné a infračervené vlny, tedy od 0,4 μm do 40 μm. Lze na tyto paprsky aplikovat stejné zákony jako na světlo - zákony odrazu, lomu a jiné. Jelikož jsou obsaženy v elektromagnetické vlně, mohou se šířit i vakuem, na rozdíl od zvuku. Šíření takovýchto tepelných paprsků je popsáno jako sálání, nebo radiace. Vyzařovaný výkon lze vypočítat takto:

$$P = S\varepsilon\sigma(T_1^4 - T_2^4) \quad (16)$$

Při vyzařování výkonu z tělesa dochází k dopadu na jiné okolní těleso, kde se tato energie rozdělí na odraženou, pohlcenou a procházející. Část této energie se promění v teplo, které těleso absorbuje a může dojít ke zvýšení jeho teploty. Je-li ovšem těleso v pohyblivé tepelné rovnováze, tak to znamená, že energie kterou přijme sáláním od jiného tělesa, tak zároveň i vydává a tudíž nemění svůj vnitřní stav (teplotu). Laicky řečeno: „Nula s nulou pojde“.

Časté označování sálavého výkonu je písmenem  $E = (Wm^{-2})$ . Nejjednodušší výpočet je podle vzorce pomocí tepla a plochy.

$$E = \frac{Q}{S} \quad (17)$$

Dopadající sálavou energii na těleso  $Q_0$  můžeme rozdělit pomocí matematického zápisu takto:

$$Q_A + Q_R + Q_D = Q_0 \quad (18)$$

, kde A je pohltivost, R odrazivost a D je průteplivost. Při napsání do poměrných jednotek se vzorec redukuje na:  $A + R + D = 1$  a pomocí jednoduché tabulky lze určit vlastnosti daného tělesa.

Hodnoty A, R, D	Vlastnost	Typ tělesa
A=1, pak R=0 a D=0	$Q_0$ je pohlcena	Dokonale pohltivé (černé)
R=1, pak A=0 a D=0	$Q_0$ je odražena	Dokonale odrazivé (bílé)
D=1, pak A=0 a R=0	$Q_0$ prochází	Dokonale průteplivé

Tabulka 2: Rozdělení těles dle vlivu dopadající tepelné energie. [T2]

V přírodě ovšem takto idealizovaná tělesa budeme jen těžko hledat, jelikož hodnoty A, R, D závisí na mnoha faktorech. Tyto faktory jsou dány samotnými materiálovými vlastnostmi tělesa a dopadající energií  $Q_0$ . Vždy je tedy nutné každý materiál správně prozkoumat. Například křemík je neprůteplivý pod 4μm a sklo zase nepropouští UV paprsky, ale prochází viditelné spektrum. V praxi je využíváno například optiky z Germania, kde tento materiál propouští infračervené paprsky, což se výborně hodí pro měření termovize. Tímto způsobem je třeba možno měřit i tepelné mosty budov, nebo lokální úniky a netěsnosti. Pomocí nátěru sazí lze zase dosáhnout pohltivosti 96%. [1], [2], [9]

<sup>9</sup>Například: radiové vlny, mikrovlny, IČ, viditelné světlo, UV, RTG a gama záření.

## 1.3 Důležité zákony

V následující kapitole si uvedeme pár zákonů důležitých pro sdílení tepla. Jedná se o elementární vzorce, které nám pomohou pochopit tepelné procesy.

### 1.3.1 Stefan-Boltzmannův zákon

Tento zákon udává vzorec pro výpočet energie záření. Je v něm implementována Stefan-Boltzmannova konstanta<sup>10</sup>  $\sigma$ , dále absolutní hodnota teploty tělesa  $T$  a emisivita  $\varepsilon$ . Je tedy jasné, že energie záření daného tělesa bude mimo jiné záviset na materiálu nebo povrchu daného tělesa. [9]

$$E = \varepsilon \sigma [T]^4 \quad (19)$$

### 1.3.2 Kirchhoffův zákon

Jedná se o zajímavý zákon, který udává poměr sálavosti  $E_1$  a pohltivosti  $A_1$  jakéhokoliv tělesa do poměru k absolutně černému tělesu  $A_{\check{C}T}$ .

$$\frac{E_1}{A_1} = \frac{E_X}{A_X} = \frac{E_{A\check{C}T}}{A_{A\check{C}T}} = f(T) \quad (20)$$

Z definice absolutně černého tělesa<sup>11</sup> je patrné, že jeho sálavost je maximální při všech teplotách. Tedy sálavost šedých těles je menší než sálavost idealizovaného případu. Teoreticky dokonale „bílé“ těleso, které odráží všechnu dopadající energii, bude mít sálavost velmi blízkou nule, záleží na míře idealizace. Zároveň plyne důležité upozornění, že v praxi nebude těleso jen pohlcovat, ale zároveň i sálat na blízké okolí. Tímto jevem se budou tělesa ovlivňovat v reálném čase navzájem mezi sebou. Dalo by se to přirovnat k jakési dvoucestné komunikační lince. [1], [2]

### 1.3.3 Planckův zákon

Tento zákon pojednává o vyzařování a pohlcování těles. Popisuje energii  $e$ , která je vyzařována, popřípadě pohlcována a to po kvantech, nikoli spojitě. Pro výpočet se používá Planckova konstanta<sup>12</sup>  $h$  a frekvence vyzařování, popřípadě pohlcování,  $f$  daného tělesa. Taková energie se pak počítá podle následujícího vzorce: [9]

$$e = hf \quad (21)$$

Následuje kapitola Termodynamiky, kde budou probrány další důležité zákony.

<sup>10</sup>Stefan-Boltzmannova konstanta je rovná  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$

<sup>11</sup>Jde o ideál, který pohlcuje záření všech délek, jež na něj dopadají a současně emituje takové, které závisí na jeho  $T$ .

<sup>12</sup>Planckova konstanta je rovná  $6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$ .

## Část II

# Termodynamika

Následující podkapitoly pojednávají o základech termodynamiky a teorii Carnotova cyklu.

## 2 Základní pojmy

V této podkapitole probereme základní teoretické zákony Termodynamiky.

### 2.1 Teplota, nultý termodynamický zákon

Z makroskopického hlediska lze brát pojem teploty stejně jako například délku a váhu. Pomocí termodynamického zákonu lze formovat dostačující definici, ovšem tento zákon bude probrány níže. Základní představa, se kterou se lze spokojit, byla formována už dříve a to hlavně pomocí pozorování ze života. Jedna z prvních „definic“ teploty podle Maxwella je odvozena od teploty těla, ve smyslu teplotního stavu vztaheného ke schopnosti předávání tepla ostatním tělesům. První náznak definice teploty se odvíjel od pojmu „teplý“ nebo „studený“ vůči lidskému tělu, což dnes není dostačující. [10]

#### 2.1.1 Nultý termodynamický zákon

Pro zavedení definice a měření teploty vznikl nultý termodynamický zákon, který lze intuitivně odvodit z následující historické myšlenky. Máme dva předměty A, B a předpokládejme, že dochází k tepelnému kontaktu mezi předměty a zároveň jsou tělesa dokonale izolována vůči okolí. Z předešlých pozorování bylo jasné, že teplo bude přecházet z tělesa teplejšího na těleso studenější, dokud bude existovat tepelný spád. Po vymizení tepelného spádu jsou tělesa A a B na stejné teplotní úrovni, tedy v tepelné rovnováze. Důsledkem této úvahy je nultý termodynamický zákon: „ Jsou-li dva systémy v tepelné rovnováze se třetím novým systémem, pak jsou v tepelné rovnováze i navzájem mezi sebou.“ Jinými slovy, pomocí třetího systému lze změřit teplotu předmětu A a B bez interakce systému A a B mezi sebou. Tento měřicí systém je Teploměr<sup>13</sup>. Jedná se o možnost srovnání, nelze to tedy vnímat jako fyzikální popis a zároveň se musí uvažovat s jistou nepřesností. Ovšem tento zákon je spíše historickou zajímavostí. [10]

#### 2.1.2 Teplota

Z mikroskopického hlediska je zvýšení teploty doprovázeno zvýšením kinetické energie molekul, tedy jsou-li systémy v tepelné rovnováze, pak je průměrná kinetická energie molekul stejná pro oba systémy. Lord Kelvin v roce 1854 ukázal, že lze zafixovat hodnotu, která bude brána jako referenční. V roce 1954 byl přijat pevný bod. Tento bod je definován hodnotou 273,16 K, respektive 0,01°C a jedná se o trojný bod vody<sup>14</sup>. [11], [12]

<sup>13</sup> Teploměr vždy ukazuje teplotu tělesa se kterým je v tepelné rovnováze.

<sup>14</sup> Teplota při rovnováze tří stavů vody - ve stavu vody, ledu a páry.

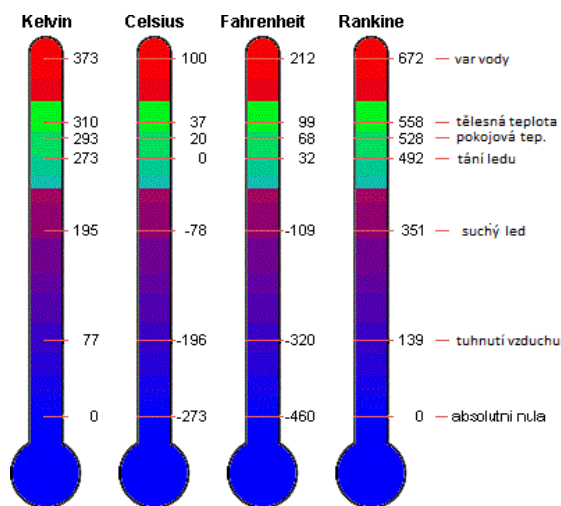
### 2.1.3 Teplotní stupnice

Pro vytvoření teplotní stupnice lze využít více postupů, ovšem ve výsledku budou všechny fungovat na stejném principu. Jde zde o funkční závislost daného media na změně teploty. Uvažujeme-li materiálovou vlastnost  $X$ , konstanty  $a, b$ , teplotu  $t$  jako lineární závislost, pak: [10]

$$t = a + bX \quad (22)$$

Je zde tedy závislost látky na teplotě. Stejně to bude i pro tepelné čerpadlo, které při své práci je vysoce závislé na teplotní rozdílu, který se odvíjí především od venkovní teploty, kdy tato závislost není lineární. Právě tato tepelná dynamika musí být změřena. O změření se stará výrobce, který udává jak je jeho výrobek „výkonný“ při dané venkovní teplotě (viz níže). Tyto hodnoty s výhodou využijeme a patřičně proložíme.

V dnešní době je řada teplotních stupnic a je dobré si uvědomit, kterou používáme. Kromě klasické Celsiovi stupnice je pro nás stěžejní Kelvinova stupnice. Další možnosti jsou u nás méně užívané stupnice, tedy Fahrenheitova a Rankinova stupnice. Kde orientačně  $0^{\circ}\text{C}$  odpovídá 273,15 K, nebo  $32^{\circ}\text{F}$ , nebo  $492^{\circ}\text{R}$ . Další důležité body jsou znázorněny na přehledovém obrázku stupnic, viz níže. [11], [13]



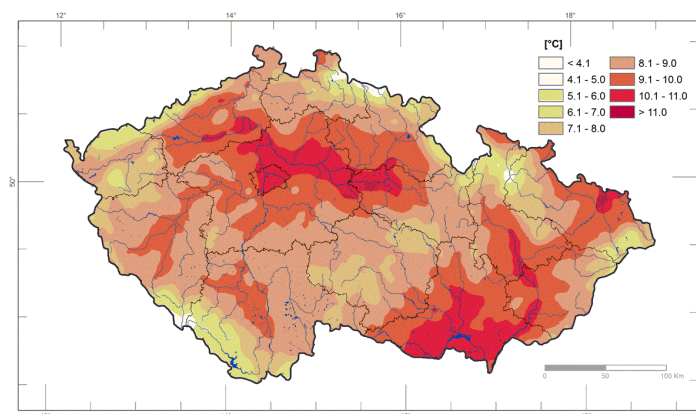
Obrázek 4: Ukázka různých teplotních stupnic. [O4]

## 2.2 Klimatické podmínky

Klimatické podmínky lze dělit na povětrnostní a klimatické poměry. Mezi povětrnostní spadají veličiny, které popisují okamžitý děj v ovzduší, jako je tlak, teplota vzduchu, vlhkost vzduchu, rychlost větru a vodní srážky. Mezi klimatické spadají průměrné údaje pro danou lokalitu, respektive je zde závislost na zeměpisné poloze, ale i nadmořské výšce. Všechny údaje jsou dlouhodobě snímány, což je pro nás výhodné. Pro naše výpočty využijeme období mezi lety 1990 až 2017.

### 2.2.1 Teplota vzduchu

Teplota vzduchu odráží intenzitu slunečního záření, které projde na povrch Země. Nastává určité zpoždění, jež je dáno akumulací materiálů. Denní teplota se pohybuje po „sinusovce“. Pro nás bude nejdůležitější odhadnout venkovní denní teplotu, která nám bude určovat velikost teplotního spádu. Měření teploty probíhá více než 100 let a poslední dobou padá jeden rekord za druhým. [14], [15]



Obrázek 5: Průměrná roční teplota pro rok 2016. [5]

### 2.2.2 Rychlost větru

Vlivem nerovnoměrného dopadajícího slunečního záření vznikají tlakové rozdíly v atmosféře. Vzniklé proudění vzduchu reaguje na tyto tlakové rozdíly a vyvolává se tak jev zvaný „vítr“. V našich zeměpisných šířkách jsou poměrně klidné povětrnostní podmínky, kdy v nížinách je průměrná rychlost okolo  $3 \frac{m}{s}$  a ve vyšších polohách i nad  $8 \frac{m}{s}$ . Vítr zapříčiňuje ztráty infilrací, které vznikají díky netěsnosti oken<sup>15</sup>.

Vliv větru může být nepříjemný faktor pro regulaci otopné soustavy. V některých případech se může tepelný příkon části budovy zvýšit až o 25%. Zde je pak nutno osadit sofistikované řízení pro každou místnost samostatně, aby nedocházelo k přetápění ve zbývajících částech budovy. Zároveň častá změna směru větru poměrně znemožňuje cílené kontrolování jeho vlivu. V těchto případech se musí budova osadit s okny, která jsou 100% těsná. V normě ČSN EN 12 831 je na vliv větru myšleno pomocí již zmíněných ztrát infilrací. Ve vzorci je zaveden výškový korekční činitel  $\varepsilon$ , který zohledňuje vyšší rychlost proudění ve vyšších patrech budovy.

Výška středu místnosti od úrovně země	Činitel $\varepsilon$
do 10 metrů	1
mezi 10 a 30 metry	1,2
nad 30 metrů	1,5

Tabulka 3: Výškový korekční činitel  $\varepsilon$ . [T3]

<sup>15</sup>U moderních oken lze infilraci zanedbat. Moderní se rozumí ta okna, která jsou instalována v posledních deseti letech.

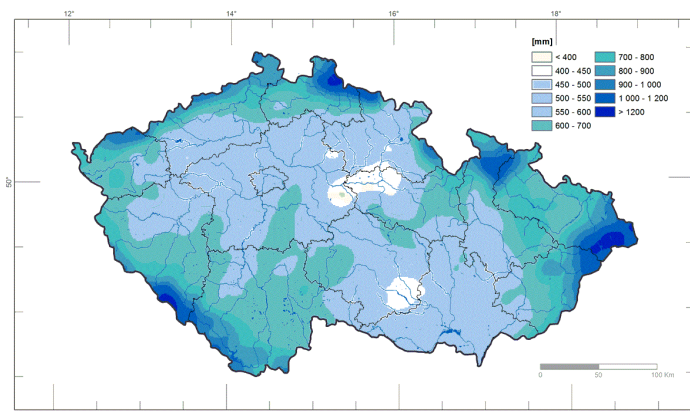
Dále norma ČSN EN 12 831 využívá stínící čísel  $e$ , který je rozdělen do 3 tříd. Nulová třída je typická pro velice větrné budovy, první třída pak pro obytné budovy v předměstské zástavbě a poslední druhá třída je typická pro středně velké budovy v centru měst. [14], [15], [16]

Třída stínění	Hodnota čísel stínění $e$		
	Bez nechráněných výplní	Jedna nechráněná výplň	Více nechráněných výplní
0 - žádné	0	0,03	0,05
1 - mírné	0	0,02	0,03
2 - velké	0	0,01	0,02

Tabulka 4: Korekční čísel zastínění  $e$ . [T3]

### 2.2.3 Solární zisky

Solární zisky jsou hojně diskutovány ohledně vlivu na budovu. Při správném návrhu budovy dokáží pokrýt až 35% potřeby tepla. Je zjevné, že solární zisky jsou větší během léta, než-li v zimě. Hodnoty závisí na stavu podnebí a lze se částečně odrážet od mapy srážek, která je na obrázku. Samotná mapa intenzity slunečního záření, dopadající na plochu Země, je spíše problematikou fotovoltaických systémů. Pro nás je důležité si jen uvědomit, že tyto zisky existují, ovšem při samotném výpočtu se s nimi nesetkáme přímo, maximálně jen ve formě přírážkových koeficientů. [14], [15]



Obrázek 6: Průměrné roční srážky pro rok 2016. [O6]

### 2.2.4 Vlhkost vzduchu

Samotná vlhkost vzduchu není tolik regulována v menších obytných domech. Je ovšem nutné si uvědomit, že pro tepelnou pohodu je vhodné ji udržovat mezi 30 - 70 %. Není-li vlhkost udržována v této hladině, tak mohou vznikat pocity příliš suchého, nebo naopak příliš vlhkého vzduchu. V obojích případech dochází ke stíženému dýchání. Ve výpočtu je vlhkost zanesena pomocí minimálního hygienického požadavku na větrání. Tato hodnota je odvinuta od druhu prostoru, viz tabulka 28 v příloze. [15]

## 2.3 První termodynamický zákon

Pro vysvětlení prvního termodynamického zákona potřebujeme definovat vnitřní energii, práci a teplo.

1. Vnitřní energii označujeme  $u$  a její změna bude označována  $du$ . Vnitřní energie je definována jako celková nahromaděná energie uvnitř tělesa, která se „nepohybuje“. Jedná se o energii pohybujících se částic uvnitř tělesa, vyjma energie kinetické a potenciální jako celku.
2. Označování práce má svá úskalí, nejčastěji se využívají písmena<sup>16</sup>  $A$  a  $W$ . Práci lze definovat jako působení síly<sup>17</sup>, která nejčastěji posunuje, nebo také deformuje těleso.
3. Poslední označení bude  $Q$  pro teplo a jeho diferenciál  $\delta Q$  vyznačuje změnu resp. výměnu tepla.

První termodynamický zákon nám popisuje, že vnitřní energii  $u$  můžeme změnit jen za pomoci práce  $A$  a tepla  $Q$ . Tento zákon můžeme matematicky formulovat takto:

$$\delta u = \delta Q - \delta A \quad (23)$$

Resp. energie uzavřeného systému mění jen svojí podobu - nezaniká ani nevzniká. [8], [10], [17]

## 2.4 Druhý termodynamický zákon

Před popisem druhého termodynamického zákona si definujeme entropii a entalpii.

1. Entalpie se označuje  $H$ , někdy také  $I$ , její jednotkou je  $(J)$ . Vyjadřuje se jako tepelný obsah tělesa, tedy energie uložená v látce. S vnitřní energií  $U$ , při tlaku  $p$  a daným objemem soustavy  $V$  je  $H = U + pV$ . Entalpie je výhodná pro děje za stálého tlaku.
2. Entropie se označuje pomocí písmena  $s$ , její jednotkou je  $(J/K)$ . Nejčastěji se popisuje jako míra neuspořádanosti systému, vztaženo na polohu a rychlost částice v systému. Je-li systém dokonalý a tedy dokonale uspořádaný, pak je entropie nulová<sup>18</sup>. Je ovlivněna např. teplotou a tlakem<sup>19</sup>.

$$ds = \frac{\delta q}{T} \quad (24)$$

Druhý termodynamický zákon má ve své historii více formulací, které jsou docela zajímavé. První zformulování bylo provedeno Thomsonem. Který tvrdil, že nelze postavit periodický tepelný stroj, který by všechnu energii přeměnil na práci. Další formulace byla vyřčena Clausiem a to taková, že nelze bez konání práce donutit teplo k přesunu z tělesa chladnějšího na těleso teplejší. Je vidět, že druhý termodynamický zákon hovoří o limitech přeměny tepelné energie a práce.

$$\Delta s \geq 0 \quad (25)$$

<sup>16</sup> $A$  je z němčiny „Arbeit“ a  $W$  z anglického „Work“

<sup>17</sup>Například mechanické, elektrické, magnetické...

<sup>18</sup>U všech termodynamický systému nastává při  $T = 0 K$

<sup>19</sup>Stoupání teploty a klesání tlaku entropii snižuje.



Nejjednodušší příklad pro představu je následující. Máme-li tutéž látku v plynném a kapalném stavu. U plynu je jeho entropie vyšší než ve formě kapalném. Tedy míra neuspořádanosti plynových molekul je vyšší a je tedy mnohem méně schopný konat užitečnou práci. První termodynamický zákon nám udává, že množství energie během procesů je zachováno, ale kvalita této energie se podle druhého termodynamického zákona snižuje na úkor zvyšování entropie. [5], [8], [17], [18]

### 3 Carnotův cyklus

V této podkapitole probereme tematiku ohledně Carnotova cyklu.

#### 3.1 Kruhový děj

Změny při procesu lze dělit na vratné a nevratné. Vratná změna je taková, která může být provedena zpětně bez ztráty prostým otočením úkonu. Z pozorování je jasné, že procesy jsou ze změn nevratných a k navracení na původní stav je vždy dosaženo vnější silou. Jedná se o důsledky změn skupenství, hmotnosti pracovního média a rychlosti proudění. Tato úvaha je důležitá, jelikož bez pomocné síly by nebylo možné vytvořit kruhový děj, tedy vrátit se na počátek.

Skutečný oběh idealizujem vratným, jenž je v T-s diagramu znázorněn uzavřenou křivkou a jedná se o tzv. porovnávací oběh. Odchylku lze vyjádřit účinností obou oběhu za pomoci porovnávacího součinitele oběhu  $v$ . [8], [9], [17]

$$v = \frac{\eta_{skutečný}}{\eta_{idealizovaného}} \quad (26)$$

#### 3.2 Carnotův cyklus

Nezákladnějším kruhovým dějem je právě Carnotův cyklus, který je určen pro ideální plyny. Pro jednoduchost a přehlednost si uvedeme základní názvosloví, po kterém se většina technický procesů pohybuje. Jedná se o vlastnosti, které se nemění a daný děj nese jméno podle této stálosti:

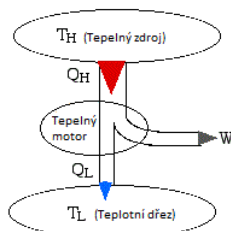
Veličina	Popisný děj	Matematický zápis
Objem	Izochora	$V = konst.$
Tlak	Izobara	$p = konst.$
Teplo	Adiabata	$dQ = konst.$
Teplota	Izoterma	$T = konst.$
Entalpie	Izoentapla	$H = konst.$
Entropie	Izoentropa	$s = konst.$

Tabulka 5: Možnosti konstantnosti termodynamický veličin. [T4]

V praxi se nesetkáme přímo se striktní konstantností, jelikož reálné děje probíhají polytropicky. Tento popis je ovšem složitý a pro představu stačí předpokládat, že tyto vyjmenované děje mají opěrný bod v konstantní veličině, což je výhodné pro výpočty. [8], [17]

### 3.2.1 Popis

Carnotův tepelný cyklus je teoreticky nejefektivnější tepelný cyklus v mezích fyzikálních zákonů a reálné zařízení se může jen přiblížit jeho parametrům. Teoreticky popisuje limitní část tepla, která může být využita pro konání práce<sup>20</sup>. Ve strojích jsou procesy brány jako vratné a dochází tedy ke zvyšování entropie.



Obrázek 7: Carnotův cyklus schematicky, [O7]

Lze stanovit nejvyšší možnou efektivitu cyklu v mezích pracovních teplot. Účinnost cyklu je následující, kde  $T_H$  je teplota ohříváče,  $T_L$  je teplota chladiče a  $Q$  značí teplo. [8], [17], [19], [20]

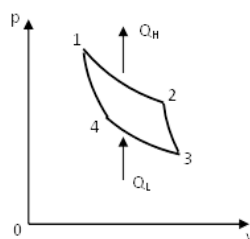
$$\eta = \frac{W}{Q_H} = \frac{T_H - T_L}{T_H} \quad (27)$$

### 3.3 Carnotův reverzní cyklus

Pro tuto práci bude tento cyklus stěžejnější než Carnotův cyklus, který není vhodný pro popis TČ.

#### 3.3.1 Popis cyklu

Na rozdíl od tepelného Carnotova cyklu prochází dějem trochu odlišným způsobem. Základem je teplo  $Q_L$ , které je absorbováno z nízkoteplotního zásobníku (okolí) s konstantní teplotou  $T_L$ . Výstupem je teplo  $Q_H$ , které je možné získat za dodání práce  $W$ , tak aby se dodržel 2. termodynamický zákon. Carnotův reverzní cyklus obsahuje základní děje při kompresi a expanzi.



Obrázek 8: Carnotův reverzní cyklus v P-V diagramu, [O8]

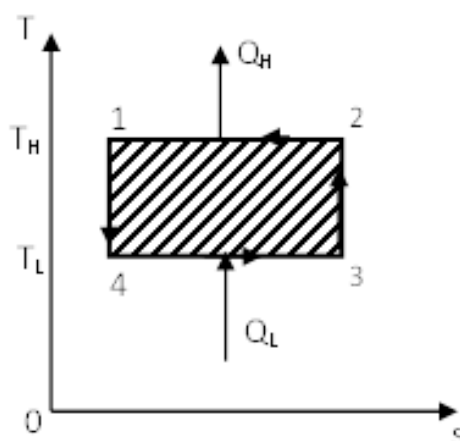
<sup>20</sup>Dle zákonů termodynamiky nelze využít všechno teplo k práci.

Hlavní děje při Carnotově reverzním cyklu:

- *Adiabatická komprese*<sub>3-2</sub>  
Dochází ke stlačení plynné pracovní látky, kdy teplo roste z  $T_L$  na  $T_H$ .
- *Izotermická komprese*<sub>2-1</sub>  
Provádí se při konstantní teplotě  $T_H$ . Dochází k předání tepla  $Q_H$ , například pomocí výměníku do otopné soustavy.
- *Adiabatická expanze*<sub>1-4</sub>  
Dochází k expandování pracovního media a tím i poklesu teploty z  $T_H$  na  $T_L$ .
- *Izotermická expanze*<sub>4-3</sub>  
Dochází k absorbování tepla z nízko-potenciálového zdroje a to díky podchlazené pracovní látce. Zakončuje se tak cyklus a tím i kruhový děj.

Potřebnou práci  $W$  pro získání  $Q_H < 0$  z nízko-potenciálového zdroje  $Q_L > 0$  lze dopočítat:

$$W = -Q_H - Q_L \quad (28)$$



Obrázek 9: Carnotův reverzní cyklus v T-S diagramu, [O9]

Směr cyklu je opačný<sup>21</sup> a děj probíhá přes body 3-2-1-4. Krom rozdílu ve směru toků tepla  $Q$  je tento cyklus vlastnostně stejný jako Carnotův cyklus a tedy platí stejné zákony. Nejdůležitější jsou toky  $Q$ , která nás budou zajímat a to z důvodů možnosti vytápění objektů na straně výstupu  $Q_H$  ze zdroje  $Q_L$ . [8], [17], [21]

<sup>21</sup>Ve srovnání s Carnotovým cyklem.

### 3.3.2 Topný faktor

V praxi je označován COP, což vychází z anglického spojení slov „coefficient of performance“. Doslovný překlad může zavádět k mylnému názvu „koeficient výkonnosti“. Nutno podotknout, že výpočet COP pro chlazení a topení je odlišný, hlavně kvůli směru „využívání“.

Důležité pro výpočet COP budou následující fakta:

$$(s_2 - s_1) = -(s_4 - s_3) \quad (29)$$

$$Q_H = T_H(s_2 - s_1) \quad (30)$$

Po aplikaci vzorců můžeme vypočítat topný faktor následovně.

1. Pro tepelné čerpadlo.

$$COP_1 = \frac{-Q_H}{W_{REV}} = \frac{-Q_H}{-Q_H - Q_L} = \frac{T_H(s_2 - s_1)}{-T_H(s_2 - s_1) - T_L(s_4 - s_3)} = \frac{T_H}{T_H - T_L} \quad (31)$$

1. Pro chladicí zařízení.

$$COP_2 = \frac{Q_L}{W} = \frac{Q_L}{-Q_H - Q_L} = \frac{T_L}{T_H - T_L} \quad (32)$$

Topný faktor je závislý na nejvyšší a nejnižší teplotě. Nejvýznamnější vliv na topný faktor má teplota  $T_L$ , která se svým poklesem zároveň snižuje topný faktor. Tento poznatek je důležitý pro naše modelování, kdy právě nižší teploty způsobí pokles výkonu čerpadla. S tímto poklesem se bude muset vypořádat pomocný tepelný zdroj, jinak dojde k poklesu otopné teploty. Dále platí následující jednoduchá rovnice:

$$COP_1 = COP_2 + 1 \quad (33)$$

Moderní čerpadla nemají problém dosahovat vysokých topných faktorů, jako třeba 5. To na první pohled vypadá lákavě, ovšem při detailnějším zkoumání lze dojít k závěru, že takto vysoký topný faktor je dosažen díky vyšším tlakům v potrubí. Samozřejmě ze začátku to nečiní problémy, ale v proudu času přináší vyšší tlak také větší opotřebení a vyšší náchylnost na poruchovost. Proto tyto čerpadla disponují menší dobou života. [8], [19], [21]

## Část III

# Tepelná čerpadla a jejich součásti

Následující podkapitoly pojednávají o potřebných teoretických základech výměníků tepla a tepelných čerpadel. Zároveň jsou zde probrány potřebné matematické modely.

## 4 Výměník

V této podkapitole bude stručně probrán základní popis výměníků, jejich rozdělení a model. Jde ovšem o podpůrné zařízení tepelného čerpadla, tudíž jeho problematika je probrána okrajově.

### 4.1 Obecně

Tyto zařízení slouží k oddělení dvou částí kapalných nebo plyných medií. Hlavní důvod oddělení látek je například mezi potenciálně toxickým cyklem (teploměrným) a vodním cyklem (distribučním). V našem případě bude výměník například oddělovat pracovní látku tepelného čerpadla a vodní okruh. Nedochází tedy k mísení látek, ale dochází právě k přenosu tepla skrz stěny výměníku. [2]

### 4.2 Typy konstrukcí

Dnes se prodávají dva základní typy výměníku: Deskové výměníky a Trubkové výměníky. Dále je možné výměníky dělit například podle typu zapojení.

#### 1. Deskové

Už z názvu vyplývá, že budou ve formě desek. Díky tomuto uspořádání dosahují tyto výměníky větší teplo-nosné plochy v přijatelných rozměrech. Jejich nevýhoda je nutnost pořízení čerpadel na obě strany výměníku, tedy i vyšší spotřeba elektrické energie.

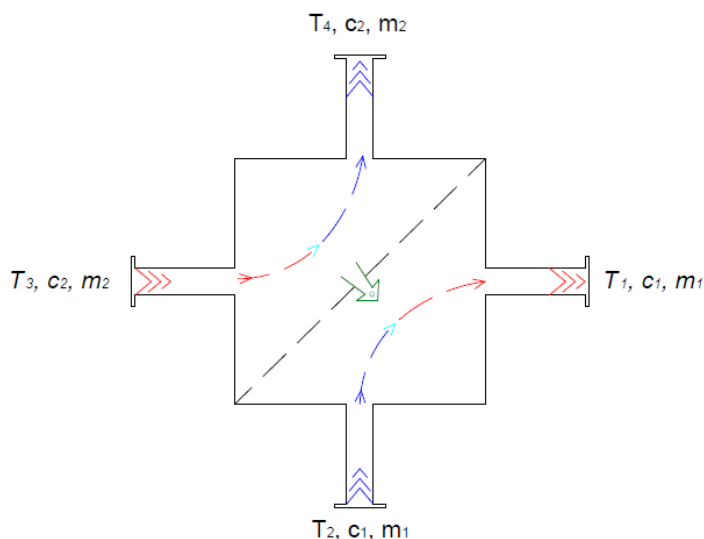
#### 2. Trubkové

Konstrukce opět vychází z názvu, kdy se nejčastěji objevují trubkové výměníky v akumulčních nádržích, tzv. integrované výměníky. Zde je zatočená trubka, která je ponořena uvnitř nádrže a přestup provádí plášť trubky. Nespornou výhodou je, že je zde jen jediné čerpadlo a malá tlaková ztráta. Nevýhodou ovšem je malá efektivní plocha přestupu, tedy je zde použitelnost jen pro malé výkony. Další obdobou trubkového výměníku je podobný koncept osazený v tubusu, resp. systém „trubka v trubce“.

Další možné rozdělení je podle zapojení přívodu na souprouté a protiprouté (popřípadě křížové a kombinované). Souprouté jsou takové kdy media tečou ve stejném směru rovnoběžně vůči sobě, protiprouté jsou takové kdy směry proudů jsou rovnoběžné, ale opačné. [2], [22]

### 4.3 Model výměníku

Matematický popis výměníku lze postavit na bilanční a kvalitativní rovnici. Tyto rovnice lze odvodit z náhradního schématu (viz Obrázek), kde vstupující veličiny mají kladnou hodnotu a vystupující opačnou.



Obrázek 10: Schéma pro odvození rovnic výměníku. [O10]

Po zakreslení lze tedy odvodit následující rovnice:

1. Rovnice bilance

$$\dot{m}_2 c_2 T_3 - \dot{m}_2 c_2 T_4 + \dot{m}_1 c_1 T_2 - \dot{m}_1 c_1 T_1 = 0 \quad (34)$$

$$\dot{m}_1 c_1 T_2 + \dot{m}_2 c_2 T_3 = \dot{m}_1 c_1 T_1 + \dot{m}_2 c_2 T_4 \quad (35)$$

2. Kvalitativní rovnice

po označení<sup>22</sup>  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$

$$\Delta_1 = (T_3 - T_2) \quad \& \quad \Delta_2 = (T_1 - T_4) \quad (36)$$

dostáváme výslednou rovnice  $Q$

$$Q = k S \frac{\Delta_1 - \Delta_2}{\ln \frac{\Delta_1}{\Delta_2}} \quad (37)$$

,kde člen  $k S$  charakterizuje konstantu výměníku ve  $(\frac{W}{K})$ .

Tyto rovnice nám pomohou při modelování tepelného čerpadla, které má obdobné schéma. [2]

<sup>22</sup>Pomocí pomocného pravidla: Teplý vstup proti zrcadlově (dle osy přestupu) přilehlé teplotě armatury.

## 5 Tepelné čerpadlo

V následující kapitole budou probrány základní konstrukce tepelných čerpadel, jejich princip a revize.

### 5.1 Obecně

Jedná se o alternativní zdroj ohřevu vody nebo vytápění. Dnešní náročnost na vytápění moderních budov je poměrně malá. Tímto zlomem se právě tepelná čerpadla dostávají na trh a jsou hojně využívána. Ve zkratce dochází k využití nízko-potenciálního tepla okolního prostředí a pomocí systému je toto teplo převedeno na vyšší tepelnou hladinu. Obecně se předpokládá, že dvě třetiny tepla jsou „ukradeny“ z okolí a jedna třetina je dodána kompresorem. Tyto čísla ovšem závisí na mnoha parametrech.

Mezi přední výrobce tepelných čerpadel patří německý Stiebel Eltron, švédský NIBE a Česko-rakouská ENBRA. Vyrábějí se různé kombinace vnitřních a venkovních systémů, které mohou ohřívat otopnou soustavu, nebo i užitkovou vodu. [23]

### 5.2 Historie

Z fyzikálních zákonů lze princip tepelného čerpadla odvodit už nějakou dobu a to díky zákonům termodynamiky. Samotný objev ovšem přišel za času Roberta C. Webbera ve 40. letech minulého století. Od té doby je princip stejný, jen jsou upravovány materiály, přístupy a parametry. [24]

### 5.3 Princip a konstrukce

#### 5.3.1 Popis funkce

Využívá se nízko-potenciálního tepla uloženého v okolním prostředí. Z logiky věci nelze toto teplo využít přímo, jelikož by došlo ke smísení vzduchu teplého a studeného. Je tedy nutno použít TČ, které nám udělá jakýsi galvanický člen mezi těmito prostředími. Dochází k extrakci tepla z okolí<sup>23</sup> pomocí pracovní látky s nízkým bodem varu. Tato látka se při dané teplotě<sup>24</sup> začne odpařovat. Pomocí kompresoru je pracovní látka stlačena<sup>25</sup> a zkapalněna, tím se ohřívá. Pomocí vysokotlakého potrubí je látka dopravena do budovy, tam je pak ve výměníku předána do daných aplikací - jako je TUV nebo obytné prostory. Tím se látka ochladí a postupuje k expanznímu ventilu, který uvolní tlak. Dále za nižších teplot<sup>26</sup> se začíná ve výparníku extrahovat teplo z nízkoteplotního zdroje. Dochází k ohřevu látky a jejímu odpařování. Tím jsme opět na začátku a to u kompresoru. Celý cyklus je neustále opakuje. Někdy probíhají servisní úkony jako je například rozmrazení, kdy se musí cyklus otočit, aby došlo k zahřátí výparníku a tedy odstranění vrstvy ledu. [2], [5], [25], [26]

<sup>23</sup>Jedná se o teplotu kde je instalován systém výparníku.

<sup>24</sup>Nejčastěji teplota okolí (dle typu TČ).

<sup>25</sup>Při tom je samozřejmě zvýšen i tlak.

<sup>26</sup>Než teplota na straně výparníku, tedy okolí.

### 5.3.2 Konstrukce

Mimo jiné se tepelné čerpadlo skládá z následujících čtyř hlavních částí: výparník, kompresor, kondenzátor a expanzní ventil, které si podrobněji popíšeme.

#### 1. Výparník

Nachází se v prostředí s nízko-potenciálním teplem, nejčastěji venku nebo v zemi, to záleží na typu čerpadla. Toto teplo způsobí postupné odpařování pracovní látky, která pokračuje v plynném stavu do kompresoru. Jedná se o modifikaci výměníku a liší se dle typu čerpadla.

U čerpadel, která využívají jako zdroje tepla vzduch, může docházet vlivem průchodu nižší teploty okolí k orosení části výparníku (kondenzace vlhkosti). Vzhledem k tomu, že primární funkce tepelného čerpadla je vyhřívání, tak se předpokládá běh za nízkých teplot. Dosáhnou-li tyto teploty, teplot pod bodem mrazu, dojde k namrznutí části výparníku. Tento efekt je nežádoucí, jelikož vznikající vrstvička snižuje topný faktor tepelného čerpadla, respektive se snižuje přenos tepla do výparníku. Moderní stroje jsou osazeny logikou, která hlídá tento nešvar a spouští tzv. „rozmrazovací cyklus“. Tento cyklus je u lepších čerpadlem dosažen přesměrováním teplé větve pomocí ventilu. Samozřejmě je nutno myslet i na to, že budou z těchto částí padat kusy ledu a je vhodné vybudovat i záchytné místo na odpadající led. [5]

#### 2. Kompresor

Přijme pracovní látku v plynném stavu, která ovšem obsahuje teplo vyčerpané z okolí. Dochází ke stlačování látky, tím se dodá látce další energie a ta pokračuje dále do výměníku v kapalném a ohřátém stavu. Kompresor koná práci a při tom spotřebovává elektrickou energii. Je tedy vhodné, aby byl motor co nejefektivnější. Jedná se o potenciálně nejporuchovější část systému. [26]

#### 3. Kondenzátor

Zde dochází ke zkapalnění látky při předávání tepla sekundárnímu okruhu za pomoci výměníku. Sekundární okruh už může být naplněn jakoukoliv kapalinou od vody až po speciální směs. Teplota okruhu TČ dosahuje maximálně 60 °C, tudíž je nutno uvažovat i o způsobu rozvedení<sup>27</sup>, aby bylo dosaženo efektivity. [5], [26]

#### 4. Expanzní ventil

Zastává rádobu oddělovací funkci mezi vysokotlakým systémem do 10tek barů a nízkotlakým systémem v řádech jednotek barů. Vrací postupně zkapalněnou (zkondenzovanou) látku zpět do výparníku, kde dochází k odpařování a celý proces začíná znova. Je nutno uvést, že expanzní ventil pracuje na velmi nízké teplotě, a proto je nutno dávat pozor na tuto část systému. [5], [26]

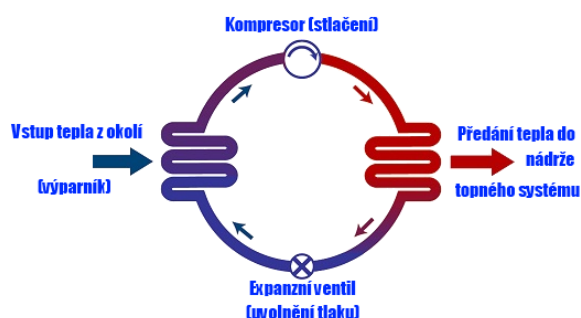
---

<sup>27</sup>Podlahové topení, vzduchotechnika, TUV a jiné podobné systémy.



## 5. Ostatní součásti

Mezi další součástky patří řídicí jednotka čerpadla, která pomocí senzorů vyhodnocuje jak je potřeba řídit výkon tepelného čerpadla. Výkon takového čerpadla se nejčastěji řídí pomocí regulace kompresoru, popřípadě regulace na sekundární straně výměníku. Tyto možnosti záleží na cenové relaci takového čerpadla. Poslední článek pro správnou funkci tepelného čerpadla je pracovní látka.



Obrázek 11: Schéma okruhu tepelného čerpadla. [O11]

## 6. Pracovní látka a legislativa

V tepelných čerpadlech se používají tzv. chladiva. Většinou se jedná o F-plyny<sup>28</sup>, tedy fluorované skleníkové plyny, které jsou vyjmenovány v nařízení EU č. 517/2014 v příloze I a II. Jedná se o náhradu za látky, které poškozovaly ozonovou vrstvu<sup>29</sup>. Na druhou stranu sice tyto plyny nepoškozují ozón, ale mají označení „potenciál globálního oteplování“ označováno zkratkou GWP. Tento potenciál se vyjadřuje na molekulu  $CO_2$ , která má jednotkový potenciál. F-plyny patří mezi látky s velkou stálostí a jejich odbourání trvá desítky let. Je tedy snaha o omezení spotřeby F-plynů do roku 2030 o 79% ve srovnání s obdobím 2009-2012. Tento cíl je dosahován pomocí kvót na dovoz těchto látek, dále jejich recyklací a prevence před únikem F-plynů pomocí revizí a kontrol.

[5], [27]

### 5.3.3 Dimenzování

Pro návrh tepelného čerpadla do užitného objektu je nutno pohlížet na potřebu tepla objektu, jeho lokalitě a cenové relaci tepelného čerpadla. Ze statistik meteorologických pozorování je patnáct dnu v roce teplota pod  $-5^{\circ}C$ . Je tedy nutné, podle lokalizace objektu, správně zvolit výpočtovou venkovní teplotu, podle čehož se pohybuje cena, výkon a typ tepelného čerpadla. Je tedy výhodnější tepelné čerpadlo dimenzovat na 50% až 75% výpočtových ztrát a zbytek pokrýt pomocným zdrojem. Tímto zdrojem se rozumí elektrický kotel, plynový kotel, popřípadě kotel na tuhá paliva. Při takovémto dimenzování lze tedy využívat častěji tepelné čerpadlo a tudíž se nám jeho investice vrátí dříve. Jinými

<sup>28</sup>Skupina obsahující fluorované uhlovodíky HFC a PFC, fluorid sírový SF6 a další.

<sup>29</sup>Omezeno Montreálským protokolem. .

slovy, čerpadlo nebude tak drahé a tudíž návratnost bude rychlejší, což s omezenou životností TČ je výhodnější. Zároveň není moudré stavět vytápění domu jen na jednom zdroji a ve všech případech bývá čerpadlo dodáváno ke stávajícímu zdroji tepla, nebo je osazeno pomocným elektrokotlem. [28]

### 5.3.4 Revize

Revize tepelných čerpadel je změnena nařízením Evropského parlamentu a rady č 517/2014 o fluorovaných skleníkových plynech. Toto nařízení padá v platnost dnem 1.1.2017 a zpřísňuje limity. Jedná-li se o hermeticky uzavřené a řádně označené zařízení, pak je revize prováděna až nad 10 tun ekvivalentu CO<sub>2</sub> k obsahujícím F-plyny v zařízení. Podrobnější informace podávají výrobci. [5]

### 5.3.5 Topný faktor tepelného čerpadla

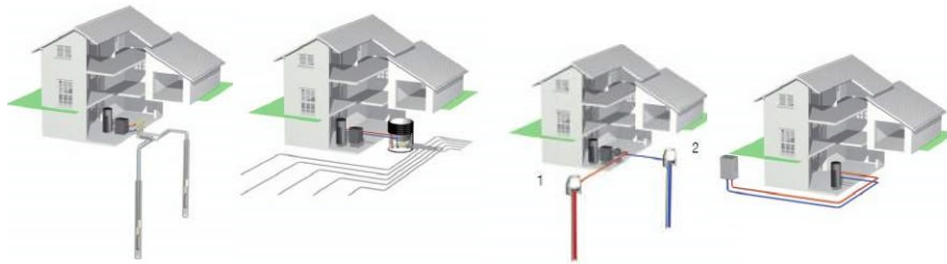
Topný faktor slouží pro porovnání jednotlivých zařízení. Dnešní topné faktory se pohybují od 2 do 6 kde závisí na podmínkách, za kterých je cyklus prováděn. Je tedy zjevné, že topný faktor nebude v průběhu topné sezony konstantní. Jednoduchý výpočet stojí na velikosti tepla získaného z nízko-potenciálního zdroje  $Q_L$  a dodaného elektrického výkonu  $P_{el}$ , jejich součet pak předáváme objektu  $Q_{předaná}$ . Jde o bezrozměrnou veličinu, která nám ukazuje velikost „znásobení“ dodaného elektrického výkonu.

$$\varepsilon = \frac{Q_{předaná}}{P_{el}} = \frac{Q_L + P_{el}}{P_{el}} = \frac{P_{top}}{p_{el}} \quad (38)$$

Samotné počítání topného faktoru na reálném objektu je ovšem náročné. Nebude-li mít tepelné čerpadlo vlastní elektroměr, je nutné celkovou spotřebovanou energii řádně ponížít o energii vynaloženou na podpůrné služby v domácnosti (světlo, voda a jiné), nebo odhadnou z matematického modelu a údajů výrobce, což využijeme v našem případě. [5], [28]

## 5.4 Základní typy

Rozdíly mezi jednotlivými modely jsou především na straně výparníku, tedy na straně kde se získává nízko-potenciálové teplo. Rozdílů mezi výrobci je mnoho a je třeba dát pozor, jelikož někteří výrobci mají tak špatné vlastnosti, že se jedná o dražší elektrický kotel. Následující podkapitoly popíší jednotlivé druhy tepelných čerpadel. Označení podkapitol bude představovat místo, kde se získává nízko-potenciálové teplo, tento okruh je označován jako prumer. Vnitřní okruh, tedy vytápěcí, nebude zde popsán, jelikož se jedná o část, která spadá pod TZB daného objektu. energii na primeru je možné získávat ze vzduchu, podzemních sond, nebo podzemních studní - viz Obrázek. [27]



Obrázek 12: Jednotlivé typy čerpadel. [O12]

#### 5.4.1 Vzduch

Tento typ tepelného čerpadla je nejlevnější možnou variantou. Jeho hlavní výhodou je cena a jednoduchost instalace. Zásadní nevýhoda je, že venkovní teplota není stála a mění se dle ročního období. To ovlivní i výkon čerpadla a tedy i jeho návratnost. Řešení je ovšem nenáročné na prostor a dostupnost, a právě proto je velice oblíbené. [2]

#### 5.4.2 Voda

Řešení, pracující na principu získávání tepla na primární straně z vodního zdroje, je finančně náročné. Na druhou stranu stálost takto vykopaných studen, které musí být dobře provedené a hluboké, je vyšší než u vzduchového typu. Následné čerpání tepla z vrtu je závislé na velikosti a kvalitě provedení vrtu. Je nutno si dát pozor na případnou kontaminaci vodních zdrojů, v případě úniku látky. Výhoda je právě vyšší teplotní stálost vrtu. [2]

#### 5.4.3 Zemní sondy

Zemní sondy jsou poslední variantou s více možnostmi. Jedna možnost je horizontální kolektor, kdy je nutná velká rozloha pozemku. Další možností je vertikální zemní vrt, který je finančně a technologicky náročnější, ale zabírá méně prostoru na pozemku. U kopání zemní vrtů a sond je nutno provést kvalitní sondáž pozemku a podloží, aby nedošlo k nějaké finanční ujme na cizím majetku<sup>30</sup>.

Jednotlivé typy tepelných čerpadel mají svoje výhody či nevýhody a s tím spojenou efektivnost a cenovou návratnost. Dimenzování a výběr je tedy nutné projednat s proškolenou osobou a nechat si vypracovat případný posudek. Největší výhodou tepelných čerpadel je místní ekologická nezávadnost, kdy oproti kotlům na tuhá paliva mají nulové lokální emise. Ještě je nutné zdůraznit, že ne do každého domu je takové čerpadlo vhodné. [2], [5]

<sup>30</sup>Například narušení podzemních vod, ze kterých čerpají četné studniční vrtu v malých obcích.

## 5.5 Provozní stavy

Jak bylo zmíněno, tak tepelné čerpadlo primárně funguje jako zdroj tepla, nebo i chladu. Samotné provozní stavy pak záleží na typu otopného systému domu a jeho nárokcům.

### 1. Monovalentní provoz

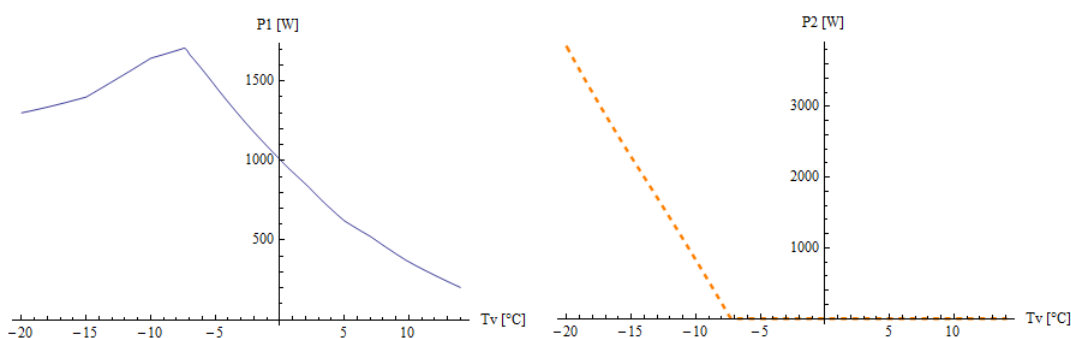
První variantou je tzv. monovalence, kdy tepelné čerpadlo pracuje samostatně. To znamená, že v daném objektu se pro zdroj tepla, v jednom okamžiku, využívá jen tepelné čerpadlo a žádný jiný systém. Tento systém je typický pro levnější a jednodušší produkty.

### 2. Bivalentní provoz

Druhou variantou je tzv. bivalence, kdy tepelné čerpadlo není jediným zdrojem tepla v budově. Pomocí řídicího systému se nastavuje mez, podle které se aplikuje jeden z následujících stavů.

- (a) Alternativní bivalence - jedná se o možnost, kdy TČ vypne na nastavené hodnotě a vytápění přebírá záložní systém.
- (b) Paralelní bivalence - jedná se o možnost na obrázku, kterou budeme využívat. Tepelné čerpadlo produkuje teplo dokud může, ovšem při nižších teplotách se začíná snižovat jeho topný výkon a je nutno vykompenzovat ztrátu. Tomu právě napomůže elektrokotel, který potřebné dodatečné teplo dodá. Výhoda je taková, že čerpadlo je používáno v celém svém pracovním pásmu.
- (c) Částečná paralelní bivalence - tato varianta počítá s prací TČ, popřípadě elektrokotle, až do určité limitní teploty, kdy už není splněn požadavek na „kvalitu“ otopné větve, kdy je odstaveno.

Dnešní tepelná čerpadla mají ve směs zabudované elektrokotle, nebo jsou pro ně připravena. Ovšem existuje-li v objektu stávající elektrický systém, je nutné zprostředkovat komunikaci, která slouží právě pro vzájemnou blokaci nebo spolupráci. Výrobci nabízejí řídicí jednotky, které se právě liší tím, jaké jsou možnosti provozních stavů v místě instalace. [30]



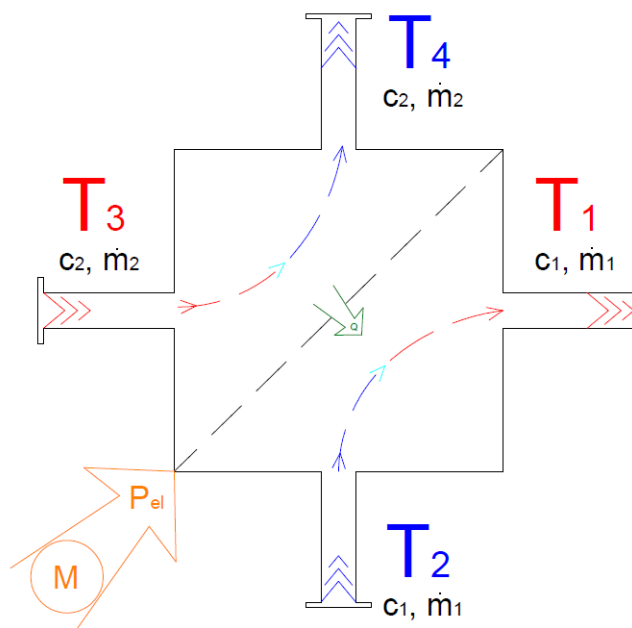
Obrázek 13: Graf spolupráce čerpadla (P1) a elektrokotle (P2).

## 5.6 Model tepelného čerpadla

Nyní si probereme potřebné rovnice modelu tepelného čerpadla.

### 5.6.1 Model funkčního bloku TČ

Podobně jako u výměníku můžeme odvodit rce pro TČ. Je zde navíc elektrický příkon kompresoru  $P_{el}$ .



Obrázek 14: Schéma pro odvození rovnic tepelného čerpadla. [O10]

Po zakreslení lze analogicky odvodit následující rovnice:

1. Rovnice bilance

$$-\dot{m}_1 c_1 T_1 + \dot{m}_1 c_1 T_2 + \dot{m}_2 c_2 T_3 - \dot{m}_2 c_2 T_4 + P_{el} = 0 \quad (39)$$

$$\dot{m}_1 c_1 T_2 + \dot{m}_2 c_2 T_3 + P_{el} = \dot{m}_1 c_1 T_1 + \dot{m}_2 c_2 T_4 \quad (40)$$

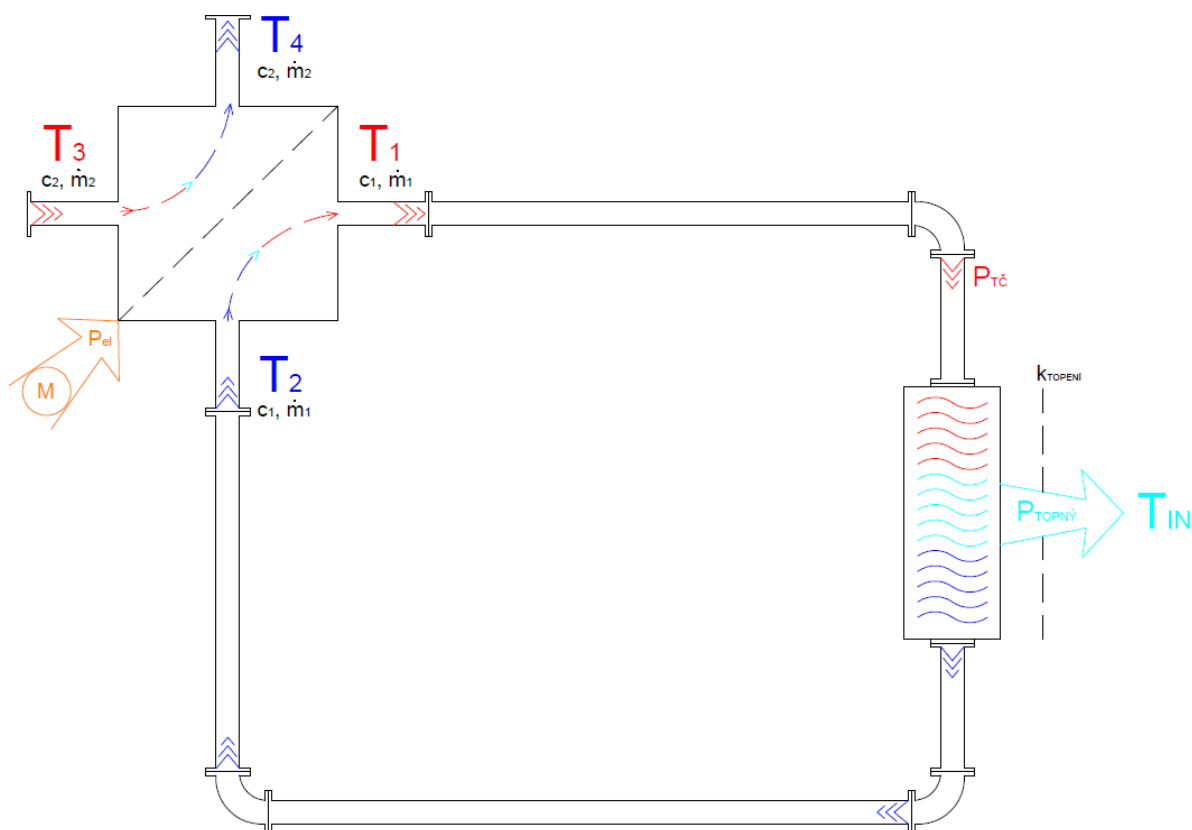
2. Topný faktor

$$\varepsilon = \frac{P_{el} + Q}{P_{el}} \quad (41)$$

Předešlé rovnice je nutno aplikovat na uzavřený otopný systém. [2]

### 5.6.2 Model otopné strany TČ

Nasleduje matematické popsání pro různé známe stavy. Kromě stavu samostatně fungující čerpadla či v bivalenci, máme taky 1 známý stav, který si určíme<sup>31</sup>. Vyjdeme z následujícího schématu.



Obrázek 15: Schéma otopné strany TČ. [O10]

,kde  $P_{TČ}$  označuje výkon tepelného čerpadla,  $P_{el}$  je pak příslušný příkon kompresoru a  $P_{TOPNÝ}$  je vygenerovaný topný výkon. Topný výkon musí být takový, aby splnil podmínky vnitřní teploty  $T_{IN}$  i s pokrytím ztrát vlivem topného systému. Tento vliv je mimo jiné zaveden v konstantě topení  $k_{TOPEŇÍ}$ . Lze také dopočítat topný faktor  $\varepsilon$ , též COP.

Teplota  $T_3$  je vstupní teplota a teplota  $T_4$  je výstupní teplota tepelného čerpadla při „venkovním“ cyklu. Vnitřní cyklus je popsán teplotou výstupní  $T_1$  a vstupní  $T_2$ . Obě větve mají svou tepelnou kapacitu  $c_1$  a  $c_2$  s úměrným hmotnostním tokem  $\dot{m}_1$  a  $\dot{m}_2$ . Všechny tyto údaje jsou použity v následujících rovnicích<sup>32</sup>. [2]

<sup>31</sup>Výpočtem ze součinitele tepelných ztrát prostupem  $H_{celk}$  a rozdílu teplot. Podrobněji viz kapitola 7.

<sup>32</sup>Horní indexy v závorkách značí závislost daného parametru.

## 1. Výchozí stav

Pro tento stav je nutná podmínka známosti následujících veličin:  $P_{top}$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_{IN}$ . Potřebný výkon otopné soustavy  $P_{top}$  lze spočítat například z požadavku domu, kdy v našem případě budeme brát tenhle výkon z hodnot pro dimenzování  $P_{teoretický}$ . Teplotu  $T_{IN}$  definuje norma na 20°C pro obytné prostory. Teplotu  $T_2$  určíme s tepelným spádem 5K od teploty  $T_1$ , jak udává výrobce. Tedy posledním potřebným je už jen teplota  $T_1$ , kterou zvolíme na 45°C. Konstanta tepelné kapacity  $c_1$  je rovna 4 186  $J kg^{-1}K^{-1}$ . Zároveň se jedná o základní set rovnic, které v následujících bodech rozšíříme o další. [2], [30]

$$\dot{m}_1 c_1 T_1 - \dot{m}_1 c_1 T_2 = P_{teoretický}^{(T_3)} \quad (42)$$

$$P_{teoretický}^{(T_3)} = k_{TOPENÍ} \left[ \frac{T_1 + T_2}{2} - T_{IN} \right] \quad (43)$$

Z těchto rovnic získáme hodnoty hmotnostního toku  $\dot{m}_1$  v  $\frac{kg}{s}$  a konstantu topení  $k_{TOPENÍ}$ , která popisuje vlastnosti otopné soustavy.

## 2. Samostatné TČ

Pomocí soustavy tří rovnic získáme stav, kdy pracuje tepelné čerpadlo monovalentně. Původní rovnice (42, 43) se rozšíří o rovnici topného faktoru (44). [2], [30]

$$\varepsilon^{(T_3, T_1)} = \frac{P_{top}^{(T_3)}}{P_{el}} \quad (44)$$

## 3. Mez bivalence

Jedná se o hranici, kdy přestane tepelné čerpadlo pracovat samostatně a musí mu vypomocť například elektrokotel<sup>33</sup>. Tuto mez získáme průsečíkem křivek výkonu čerpadla  $P_{TČ}$  a  $P_{top}$ . Pro tento výpočet je nutné vědět závislost mezi parametry tepelného čerpadla a teplotami přívodu (resp. vzduchu)  $T_3$  a otopné vody  $T_1$ . Dostáváme následující soustavu rovnic: [2], [30]

$$\dot{m}_1 c_1 T_1 - \dot{m}_1 c_1 T_2 = P_{top}^{(T_3)} \quad (45)$$

$$P_{top}^{(T_3)} = k_{TOPENÍ} \left( \frac{T_1 + T_2}{2} - T_{IN} \right) \quad (46)$$

$$\varepsilon^{(T_3, T_1)} = \frac{P_{top}^{(T_3)}}{P_{el}} \quad (47)$$

$$P_{top}^{(T_3)} \approx P_{TČ}^{(T_3, T_1)} \quad (48)$$

<sup>33</sup>Samozřejmostí je, že se elektrokotel nachází na stejné otopné soustavě.

#### 4. Bivalentní TČ a K1

Tento režim nastává tehdy, když jsme pod hranicí bivalence, tedy teplotou hluboko pod bodem mrazu (většinou). Každé čerpadlo má tuto hranici jinou a to nejen v závislosti na pracovních teplotách, ale také na potřebách daného objektu. V našem případě sepne el. kotel  $P_{kotel}$ , který do té doby byl v pohotovostním režimu, a začne pracovat paralelně s tepelným čerpadlem. Následující rovnice popisují tuto situaci: [2], [30]

$$\dot{m}_1 c_1 T_1 - \dot{m}_1 c_1 T_2 = P_{TČ}^{(T_3, T_1)} \quad (49)$$

$$P_{TČ}^{(T_3, T_1)} = k_{TOPEŇI} \left( \frac{T_1 + T_2}{2} - T_{IN} \right) \quad (50)$$

$$\varepsilon^{(T_3, T_1)} = \frac{P_{TČ}^{(T_3, T_1)}}{P_{el}} \quad (51)$$

$$P_{top}^{(T_3)} \approx P_{TČ}^{(T_3, T_1)} + P_{kotel} \quad (52)$$

Výběr příslušné rovnice probíhá dle aktuální stavu  $T_3$ , tedy venkovní teploty. Následně dojde k propočítání a vygenerování příslušného příkonu čerpadla  $P_{el}$ , příkonu kotle  $P_{kotel}$  a teploty vody  $T_1$  a  $T_2$  na okruhu tepelného čerpadla. Z těchto výkonů pak už jen stačí dopočítat úměrně spotřebovanou elektrickou energii a pomocí topného výkonu  $P_{top}$  zase dostáváme hodnoty potřeby tepla. Společný je časový přepočít  $t$ , který je odvozen od počtu hodin ve dni, tedy 24 a počtu sekund v hodině, tedy 3600. Příslušné výkony je nutno sečíst, jelikož jsou napočítány deno-stupňovou hodnotou, tedy od průměrných hodnot v jednotlivých otopných dnech. Tím získáme danou spotřebu daného zařízení. Podrobnější informace jsou kapitole: 7 OTOPNÉ SOUSTAVY (viz níže). [2], [30]

$$spotřeba_{TČ} = t \cdot \sum P_{el} \quad (53)$$

$$spotřeba_{K_1} = t \cdot \sum P_{kotel} \quad (54)$$



## Část IV

# Vytápění budov

Jak již bylo zmíněno, jistota tepla je pro lidský organismus velice zásadní. Při prochladnutí dochází k postupnému nevratnému procesu na lidském těle. Na druhou stranu, je správná teplota nutná i pro tepelnou pohodu. Je tedy nutno počítat s otopným systémem takovým, aby splavně vytopil daný objekt a zároveň obsahoval možnost regulace, která splní požadavky obyvatel budovy. Následují podkapitoly, které se zabývají tepelnou pohodou, otopnými systémy a chybovostí měření.

## 6 Tepelná pohoda

Lidské tělo samo generuje určité množství tepla, která je výsledkem látkové přeměny uvnitř organismu každého jedince. Z pozorování je jasné, že množství vzniklého tepla je úměrné dané činnosti a rozměrech jedince. Pro správnou pohodu je důležité, aby se vytvořené nadbytečné teplo<sup>34</sup> efektivně odvádělo do okolí. Tento odvod je ovlivněn nejen teplotou okolí, ale i samotným oděvem.

Typ činnosti	Produkce tepla
spánek	87 W
chůze 5 km/h	335 W
běh 9 km/h	725 W
lehká práce	190 W
těžká práce	312 W

Tabulka 6: Produkce tepla průměrného člověka (75kg). [T5]

Pro tepelnou pohodu je tedy nutné správně odvádět toto teplo. Samotná regulace těla, do stavu tepelné rovnováhy, se děje řízeně pomocí pocení  $Q_P$  a dýchání  $Q_D$ . Pasivní regulace je prováděna<sup>35</sup> pomocí konvekce  $Q_P$ , kondukcí  $Q_V$  a radiací  $Q_S$ . Tepelnou pohodu pak lze vyjádřit pomocí následující rovnice, kdy vytvořené nadbytečné teplo se rovná odvedenému teplu. Odvedené teplo je tedy vyjádřeno pomocí výše zmíněných dějů a velikosti jsou v různých poměrech. Tyto poměry záleží na aktuální situaci. Matematicky zapsáno následovně. [2], [15]

$$Q_{celkové} = Q_V + Q_P + Q_S + Q_P + Q_D \quad (55)$$

Moderní řídicí systémy snímají teploty v jednotlivých prostorech a řídí podle toho danou sekci otopné soustavy. Toto řešení je nejlepší, jelikož pak nedochází k přetápění, nebo nedotápění v dané místnosti. Zároveň odpadají problémy při zvýšené produkci teploty, kterou může například produkovat nějaký spotřebič, nebo větší počet lidí.

<sup>34</sup>Teplota těla by se měla pohybovat okolo 36,7 °C

<sup>35</sup>Za předpokladu tepelného spádu, tedy  $T_{těla} > T_{okolí}$

## 7 Otopné soustavy

Tato podkapitola popíše základní možnosti vytápění a tepelné parametry budov.

### 7.1 Obecně

Vytápění budov se za poslední roky rapidně změnilo. S návalem veřejných dotací proběhla vlna modernizace, ať už se jednalo o zateplení fasád a střech, výměny oken či změny zdroje vytápění. Tento efekt způsobil, že pro vytápění takto modernizovaných budov nám dnes postačí méně výkonný zdroj a tím se výrazně otevírá trh právě pro alternativní zdroje, jako jsou tepelná čerpadla, popřípadě solární kolektory. Zde ovšem vyvstává zásadní otázka: Je tato investice výhodná?

Pro porovnání možností je níže popsán základní přehled topných systémů.

#### 7.1.1 Kotle, krby a kamna

Tato varianta je typická tím, že zdroj přeměny energie na tepelnou, probíhá typicky v (starším) domě. Zajímavostí starších budov je, že dochází k nucenému podtlakovému větrání, tzv. komínovým efektem, kdy se odsává komínem a přisává netěsnostmi ve stavebních výplních.

Lze dnes koupit velice moderní plynové kotle, kotle na tuhá paliva, či krbové vložky s výměníky. Tyto varianty mají dostatečný výkon na vytopení celé budovy. Samozřejmě tím vznikají neregulované emise hlavně ve vesnicích a příměstských oblastech, které způsobují znečištěné prostředí. Díky své finanční výhodnosti a jednoduchosti, jsou tyto systémy pořád oblíbené.

#### 7.1.2 Centrální zdroj tepla (CZT)

Tento způsob vytápění je typický pro velké bytové domy s několika-seti užiteli. Jedná se o pohodlný zdroj bez větších starostí, který ovšem funguje nezávisle na užitelích a odvíjí se od počasí v daném ročním období<sup>36</sup>. Výhoda tohoto systému je právě odpadající servis a údržba na straně odběratele, ale také regulace emisí, která je u takto velkých zdrojů řízena zákonem a kontrolována státními orgány.

#### 7.1.3 Tepelné čerpadlo

Tento způsob vytápění je dnes relativně populární. Dochází k nebývalému rozmachu těchto zařízení v posledních dvou dekádách. Tento rozmach je způsoben zakřivením trhu vlivem dotací z EU jak na tepelné jednotky, tak na zateplení. V neposlední řadě má vliv posun technologie, která za poslední desetiletí dosáhla velkých pokroků jak ve výkonech, tak možnostech využití z hlediska venkovní teploty nízko-potenciálového zdroje tepla. Velká nevýhoda tohoto systému je právě vysoká pořizovací cena, omezená schopnost vlivem venkovní teploty a někdy i vysoká hlučnost. Velkou výhodou, u některých jednotek, bývá možnost chlazení, relativně levný provoz a nulové lokální emise.

<sup>36</sup>CZT cca podmínky: od 1. září do 31. května s nutností klesnutí teploty pod 13°C dva dny po sobě.

## 7.2 Základní parametry budov

V následující podkapitole budou probrána úsporná řešení pro budovy a jejich základní parametry. Je jasné, že nelze probrat všechny možnosti a tedy budou zmíněny jen vybrané možnosti. Pro více informací doporučuji „Program efekt<sup>37</sup>“ dotovaný ze Státního programu na podporu úspor energií.

### 7.2.1 Úsporná opatření

První myšlenky a snahy pro úspory energií nejsou jen snahou provozovatelů, ale jsou také zakotveny v právě EU. Základním legislativním opatřením je směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/37/EU o energetické náročnosti budov. Směrnice zohledňuje snižování energetické náročnosti s optimalizací nákladů a požadavků. Členské státy dle této směrnice musí zajistit, aby do 31.12.2020 byly stavěny nové budovy v pasivním návrhu, s výjimkou státního majetku, kdy je termín zkrácen o 2 roky. Také se zavádí certifikáty ohledně náročnosti budovy, které mimo jiné obsahují doporučená opatření pro úspory a energetickou náročnost objektu. Certifikuje se s platností max. na 10 let.

Úsporná opatření se odvíjí od typu potřeby energie dané budovy, která se odvíjí od její funkce a struktury. Jsou tedy pro každou budovu jedinečná. Rozdělení úsporných opatření: [31], [33]

1. Provozní úspora - za pomoci MaR se řídí a plánuje efektivnější spotřeba energií.
2. Technologická úspora - toto opatření je realizováno pomocí zásahu do daného systému.
3. Strategická úspora - zde se jedná o snahu správce budovy. Lze docílit pomocí certifikace, popřípadě motivací k dodržování předpisů a správného plánování.
4. Stavební úspora - jedná se o projektovou záležitost (rekonstrukcí, novostavbou).

### 7.2.2 Stavební detail

Jedná o pojem ze stavebnictví, který popisuje podrobnější (detailní) rozpracování dané konstrukce. Pro nás je zajímavý stavební detail z hlediska prostupu tepla. Je nutno si dát pozor, aby stavební detail z katalogu byl funkční a byla splněna návaznost. Základní požadavky na konstrukci jsou následující<sup>38</sup>:

- Statická stabilita konstrukce
- Zvukotěsnost
- Vodotěsnost
- Teplotěsnost
- Vzduchotěsnost
- Životnost a realizovatelnost

---

<sup>37</sup><http://www.mpo-efekt.cz>

<sup>38</sup>Je nutno optimalizovat dle dané situace

Stavební detail je spíše vhodnější pro řešení lokálních problémů<sup>39</sup>, než-li pro celkový výpočet prostupů. Problémy stavebních detailů lze nahradit korekcí, nebo částečně zanedbat. [5], [6]

### 7.2.3 Tepelný most

Tepelný most vzniká tehdy, kdy dochází k vyššímu tepelnému toku na plochu v daném místě dané konstrukce a tím dojde k lokálnímu rozdílu teplot. Tyto místa jsou nejen problematická z pohledu energetické náročnosti, ale také z hlediska hygieny. Mohou zde totiž vznikat plochy spojené s kondenzací vody a vzniku plísní. K zamezení je nutno v zimě intenzivně větrat, aby byl vzduch v místnosti suchý a nedocházelo ke kondenzaci. V normách jsou dány minimální hygienické požadavky na výměnu vzduchu, se kterými je vhodné počítat při výpočtu náročnosti budovy.

Typ tepelného mostu	$\psi (Wm^{-1}K^{-1})$
Vstupní dveře (práh, nadpraží, ostění)	0,12
Okno (parapet, hrana, ostění)	0,12
Garáž. dveře (hrana, ostění)	0,13
Vnitřní dveře (práh, nadpraží, ostění)	0,12
Roh vnější stěny	0,01
Roh vnitřní dělicí stěny	0,035
Neizolovaná podlaha do sklepa	0,325
Strop do podkroví, venkovního prostředí	0,33

Tabulka 7: Příklady hodnot tepelných mostů. [T3]

Problém tepelného mostu je způsoben buď nevhodným stavebním detailem, který může vzniknout při projekci i realizaci, nebo za použití nevhodných nebo vadných materiálů. V krajních případech může dojít ke kondenzaci vodní páry i v oblasti elektroinstalace a tím může dojít k úrazu elektrickým proudem, nebo dokonce k vyhoření instalace, která není projektována na vlhké prostředí. Z hlediska zdraví je i zaveden pojem nejnižší povrchová teplota konstrukce. Podle této definice je dovolená minimální teplota taková, aby se předcházelo nadbytečnému vzniku vlhkosti<sup>40</sup>. V této závislosti se ve stavebnictví zavedl faktor teploty vnitřního povrchu  $f_R = \frac{\theta_{Si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$ , kde  $\theta_{Si}$  je vnitřní povrchová teplota,  $\theta_e$  je vnější teplota a  $\theta_i$  je vnitřní teplota. V ČSN 73 0540-2 je uvedena tabulka minimálních hodnot faktoru vnitřního povrchu se kterým je daná stavba porovnána. [5], [6], [32]

Dělení tepelných mostů je velmi pestré a obecné, lze je dělit třeba následovně:

- podle charakteru - na tepelný most a tepelnou vazbu (napojení dvou konstrukcí)
- podle teorie tepla - konvektivní a konduktivní
- podle vzniku - systematické (špatná realizace) a nahodilé (spára)
- podle geometrie - bodové (hmoždinky) a lineární (krokve s izolací)

<sup>39</sup>Například při zjištění lokálních plísní.

<sup>40</sup>Od relativní vlhkosti 80% je prostředí vhodné pro množení plísní.

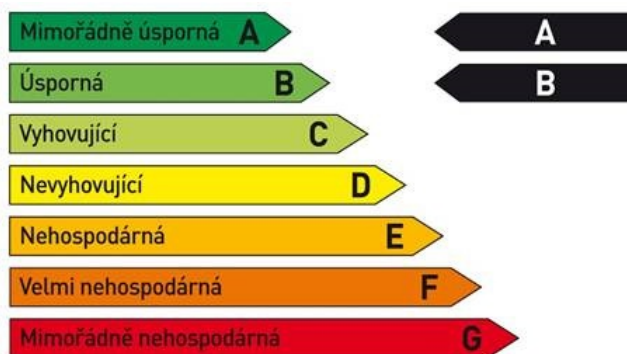
#### 7.2.4 Bodový a lineární koeficient

Tento koeficient je spjatý s prostupem tepla. Nutné je upozornit, že může být i záporný. Z hlediska toku tepla je to zavádějící, jenomže tento koeficient nemá oporu ve fyzikální ani tepelné podstatě. Jedná se o jakýsi transformační nástroj, který nám umožní poté počítat konstrukci v jednorozměrném systému o daném součiniteli a jednotlivých vazeb se správným koeficientem. Vypočítávají se z rozdílu tepelných toků homogenního a skutečného pole konstrukce. Důležitější je pohled na celek. [6]

#### 7.2.5 Energetická náročnost

Vychází z celkové spotřebované energie za určité období (rok) do existujícího objektu. Tato energie se především spotřebuje na vytápění, TUV, svícení, větrání a jiné. Pro tepelnou pohodu je tedy nutné pokrýt ztrátový výkon budovy, aby byla dosažena potřebná teplota. Tepelné ztráty budov jsou úměrné venkovní teplotě, vnitřní požadované teplotě a ztrátám větráním a prostupem. Tyto ztráty pak tvoří Energetickou náročnost budovy. Je jasné, že samotné zařízení, které je užíváno obyvateli, nemůže být zahrnuto do výpočtů, jelikož se jedná o velice specifickou spotřebu dle provozovatele.

Lze pro budovu vystavit tzv. Průkaz Energetické Náročnosti Budovy<sup>41</sup>, kde energetický štítek je jeho součástí. Čím lepší třídu daný objekt splňuje, tím je lukrativnější z hlediska prodeje či pronájmu. Tento fakt pak slouží právě pro porovnání budov mezi sebou. Zákon energetický štítek upravuje pomocí č. 406/2000 Sb. kde odpovědnost nese majitel. Účinnost nabití této legislativy je od 1.1.2016, kdy je PENB nutno zajistit pro novostavbu, při prodeji a pronájmu nemovitosti, nebo také při rekonstrukci ovlivňující spotřebu budovy s  $A_{PODLAHY} > 1000m^2$ .



Obrázek 16: Energetická náročnost budovy. [O13]

Další možnosti úspor, je provedení Energetického auditu, který vychází ze skutečně spotřebované energie (faktury). V jeho rámci se určí energetické úspory a jejich případné možnosti, pak následuje ekonomické zhodnocení doporučených opatření. Cílem auditu je snížit energetickou náročnost dané budovy, tedy jakási ekonomicko-energetická optimalizace objektu. [31]

<sup>41</sup>Označován také zkratkou PENB.

## 7.2.6 Stanovení výpočtových teplot

Výpočtové teploty jsou zásadní při výpočtu tepelné náročnosti budovy.

### 1. Vnitřní výpočtová teplota

Vnitřní výpočtová teplota se označuje  $\theta_i$ , kde index  $i$  značí interiér. Je dána v národní příloze normy ČSN EN 12831. Norma obsahuje více typů prostor a to od administrativních budov, přes školy až po sportovní budovy. V tabulce níže je základní výčet. Jedná se o doporučené hodnoty, které se mohou individuálně lišit dle potřeby obyvatel daného prostoru. Samozřejmě větší teplota tvoří vyšší teplotní spád a tedy i větší ztráty a spojené náklady na vytápění. [32]

Typ prostoru	$\theta_i = (^{\circ}\text{C})$
obývací, ložnice, pokoj, kancelář	20
kuchyň, jídelna, zasedačka, laboratoř	
koupelna, šatny, ordinace, WC	24
předsíně, chodby a jiné vedlejší místnosti	15
vedlejší schodiště	10
nepoužívaný prostor, garáž	5

Tabulka 8: Vnitřní výpočtové teploty pro různé prostory. [T3]

### 2. Vnější výpočtová teplota

Vnější výpočtová teplota se označuje  $\theta_e$ , kde index  $e$  značí exteriér. Obvykle se udává s průměrnou roční teplotou, označovanou  $\theta_{r,e}$ . Data pro vnější teploty jsou snímána po celé zemi, zejména ze strany dodavatelů tepla. Odečet probíhá každý den v  $7^{00}$ ,  $14^{00}$  a  $21^{00}$ , kde se poslední hodnota bere dvakrát.

Legislativa dále udává teplotu  $\theta_{np,e}$ , která udává začátek vytápění. Jestliže dojde k poklesu průměrné venkovní teploty ve dvou po sobě jdoucích dnech pod hodnotu  $13^{\circ}\text{C}$ , tak se oficiálně začne s vytápěním v dané lokalitě. Otopné období je většinou od 1. září do 31. května. V tomto období je vytápěcí systém v pohotovostním stavu a čeká na splnění zmíněných podmínek pro sepnutí. Ve výpočtu budeme uvažovat fiktivní otopné období s tím, že zavedeme hranici pro kterou budeme uvažovat spínání otopné soustavy domu.

Lze najít teploty pro 50-ti letý průměr, ale také pro 30-ti letý průměr, který bude nepatrně vyšší. V tabulce je 50-ti letý průměr, jelikož se jedná o „horší“ případ a je zde menší statistická chyba. Z toho lze nadimenzovat otopný systém.

Lokalita <sub>n.m.</sub>	$\theta_e$	Pro $\theta_{np,e} = 12^\circ C$		Pro $\theta_{np,e} = 13^\circ C$		Pro $\theta_{np,e} = 15^\circ C$	
		$\theta_{m,e}$	dny	$\theta_{m,e}$	dny	$\theta_{m,e}$	dny
Břeclav <sub>159m</sub>	-12 °C	4,1 °C	215	4,4 °C	224	5,2 °C	253
Brno <sub>227m</sub>	-12 °C	3,6 °C	222	4 °C	232	5,1 °C	263
České Budějovice <sub>384m</sub>	-15 °C	3,4 °C	232	3,8 °C	244	5,1 °C	279
Chomutov <sub>330m</sub>	-12 °C	3,7 °C	223	4,1 °C	233	5,2 °C	264
Karlovy Vary <sub>379m</sub>	-15 °C	3,3 °C	240	3,8 °C	254	5,1 °C	293
Poděbrady <sub>186m</sub>	-12 °C	3,8 °C	217	4,2 °C	228	5,5 °C	262
Ostrava <sub>217m</sub>	-15 °C	3,6 °C	219	4 °C	229	5,2 °C	260
Praha <sub>181m</sub>	-12 °C	4 °C	216	4,3 °C	225	5,1 °C	254
Rychnov nad Kněžnou <sub>325m</sub>	-15 °C	3 °C	241	3,5 °C	254	4,8 °C	291
Šumperk <sub>317m</sub>	-15 °C	3 °C	230	3,5 °C	242	5,2 °C	277
Tachov <sub>496m</sub>	-15 °C	3,1 °C	237	3,6 °C	250	5 °C	289
Ústí nad Labem <sub>145m</sub>	-12 °C	3,6 °C	221	3,9 °C	229	5 °C	256
Vyškov <sub>245m</sub>	-12 °C	3,3 °C	219	3,7 °C	229	4,9 °C	260
Znojmo <sub>289m</sub>	-12 °C	3,6 °C	217	3,9 °C	226	5,2 °C	256

Tabulka 9: Vnější výpočtové teploty pro lokality. [T3]

Krom těchto průměrných hodnot budou potřeba i aktuálnějších hodnoty. Lze volit mezi průměry za jednotlivé období, jako je například měsíc či den. Pro nás je dále stěžejní výpočet podle průměrných teplot v každém dni, tzv. „denostupňová metoda“. Tyto data budou brány podle lokalizace z měřící stanice (Praha) a to přímo následujícím příkazem.

$$Teploty_{načtené} = WeatherData["Prague", "Temperature", (Z, K, "Day")] \quad (56)$$

, kde  $Z$  značí datum pro začátek ve formátu {rok, den, měsíc} a  $K$  značí konečné datum pro načítání teplot ve formátu {rok, den, měsíc}. Tato funkce načte průměrné teploty, pro jednotlivé dny, mezi dny  $Z$  a  $K$ . Dále je zvolena hranice  $Teplota_{hranice}$ , podle které vybíráme ty hodnoty, které splňují náš výběr, tedy  $13^\circ C$ .

$$Select[Teploty_{načtené}, Teplota_{den} < Teplota_{hranice}] \quad (57)$$

Tímto stylem si vybereme potřebné teploty a ty můžeme aplikovat do výpočtu ztrát, abychom zjistili jak si daný objekt stojí každý den v daném období. [32]

### 7.2.7 Vybrané ukázky parametrů

Další co bude potřeba pro výpočet jsou následující základní tepelné parametry.

#### 1. Tepelné vlastnosti základních materiálů

Výpočty se opírají o měřená data jednotlivých materiálů, které jsou měřeny za laboratorních podmínek. Jsou zde dostupné právě údaje tepelné vodivosti. Při známé tloušťce daného materiálu lze dopočítat i tepelný odpor:  $R_{th} = \frac{d}{\lambda}$  (viz kapitola 1.1.4. ). V následující tabulce je krátký přehled materiálů. Více materiálů je v příloženém Excelu v listu 2 Materiály.

Materiál	$d(mm)$	$\lambda(Wm^{-1}K^{-1})$	$R_{th}(m^2KW^{-1})$
Lehká cihla	200	0,8	0,25
Beton	180	1,75	0,02
Sádra	10	0,35	0,03
Polystyrén 80	80	0,043	1,86
Extrudovaný polystyrén	60	0,037	1,62
Min. vlna	80	0,042	1,90
Vzduch. mezera	40	0,22	0,18
Dřevo	40	0,15	0,27

Tabulka 10: Přehled vybraných materiálů. [T3]

## 2. Základní hodnoty přestupů

Kromě prostupu tepla přes daný materiál je nutné vědět i přestup do okolí. Pro tyto hodnoty je opět dobré hledat v tabulce, která je normovaná. Máme-li tedy tepelný odpor příslušného materiálu a daný přestup do okolí, lze podle kapitoly 1.1.5 dopočítat hodnotu  $U$ .

Stěna	Popis toku	$R(m^2KW^{-1})$
Odpor na vnitřní straně	vodorovný tok	0,13
	horizontální tok dolů	0,10
	horizontální tok nahoru	0,17
Odpor na vnější straně	vodorovný tok	0,04

Tabulka 11: Odpor přestupu tepla stěna - vzduch. [T3]

Výše zmíněné parametry a výpočtové teploty nám poslouží k základnímu výpočtu ztrát a potřeby tepla budovy. Výpočet provedeme podle následujících norem:

1. ČSN EN 12 831 - tepelné soustavy v budovách.
2. ČSN EN ISO 13 790 - energetická náročnost budov

### 7.2.8 Stanovení potřeby tepla na vytápění budov

Výpočet potřeby tepla budov vyplývá hlavně z normy ČSN EN 12 831. Výpočet je založen na tepelných ztrátách prostupem a větráním. Norma se také opírá o pár základních podmínek: [32]

- rovnoměrné rozložení teplot
- ustálený stav
- konstantní parametry materiálů
- omezení výšky místnosti na 5 metrů
- vytápění na trvalý teplotní stav

Probere dvě možnosti a to složitější Komplexní metodu a druhou sice Jednodušší, ale dostačující.



**Komplexní výpočtová metoda** Výpočet se provádí pro funkční část budovy je pomocí různých koeficientů a symbolů. Využívá se symbol  $\theta$  pro teplotu v  $^{\circ}C$ ,  $H_T$  jako součinitel měrných tepelných ztrát prostupem ve  $W/K$  s pomocnými indexy značící směr tepelného toku,  $A_x$  označující plochu X-té stavební části v  $m^2$ ,  $\rho$  pro hustotu média v  $kg/m^3$ ,  $c_p$  pro měrnou tepelnou kapacitu v  $kJ/kgK$ ,  $U_x$  je součinitel prostupu tepla a  $L_l$  pro délku lineárního tepelného mostu v  $m$ . [5], [32], [34]

Důležité korekční činitele lze dopočítat nebo najít v příloze normy ČSN EN 12 831, není-li stanoveno na národní úrovni. Postup výpočtu pak vypadá takto:

1. Výpočet návrhové tepelné ztráty prostupem:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iu} + H_{T,ig} + H_{T,ij})(\theta_i - \theta_e) \quad (58)$$

- (a) Přímá ztráta do venkovního  $e$  prostředí:  $H_{T,ie} = \sum A_x U_x e_x + \sum \psi_l L_l e_l$   
, kde  $e_k, e_l$  jsou činitele zahrnující vliv klimatu, jako je vítr, vlhkost, teplota a jiné. Primárně rovné jedné.
- (b) Ztráta do nevytápěného meziprostoru:  $H_{T,iu} = \sum A_x U_x b_u + \sum \psi_l L_l b_u$   
, kde činitel  $b_u = \frac{\theta_i - \theta_u}{\theta_i - \theta_e} = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}}$  zahrnuje teplotní rozdíl mezi nevytápěným prostorem a venkovním prostředím.
- (c) Ztráta do zeminy<sup>42</sup>:  $H_{T,ig} = G_w f_1 f_2 \sum A_x U_{x,ekv}$   
, kde činitel  $f_1$  je pro korekci roční změny venkovní teploty, činitel  $f_2 = \frac{\theta_i - \theta_{rok,e}}{\theta_i - \theta_e}$  upravující roční průměrnou s výpočtovou venkovní teplotu a činitel zahrnující vliv spodní vody  $G_w$ , který se uvažuje v případě je-li spodní voda do 1 metru od podlahy. Nahrazený  $U_{x,ekv}$  se dohledá dle tabulky v příloze, dle charakteristického rozměru  $B = \frac{Plocha_{PODLAHY}}{0,5 \cdot Obvod_{DOMU}}$ , velikosti zapuštění  $z$  a vypočteného prostupu podlahy  $U_{PODL}$  daný její typologií.
- (d) Ztráta mezi vytápěnými<sup>43</sup>  $j$  prostory:  $H_{T,ij} = \sum A_x U_x f_{ij}$   
, kde činitel  $f_{ij} = \frac{\theta_i - \theta_{sousední}}{\theta_i - \theta_e}$  koriguje teplotu sousedního vytápěného prostoru s venkovní výpočtovou teplotou. [5], [32], [34]

2. Výpočet návrhové tepelné ztráty větráním:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i}(\theta_i - \theta_e) = \dot{V}_i \rho c_p (\theta_i - \theta_e) \quad (59)$$

Tato ztráta se opírá o menší, které dohromady tvoří celek. Samozřejmě jsou závislé na kvalitě vzduchotechniky, dodržování norem a také těsnosti stavebních částí. Za předpokladu  $\rho c_p = konst$  se výpočet součinitele tepelné ztráty větráním zjednoduší na  $H_{V,i} = 0,34 \dot{V}_i$ . Výpočet velikosti přiváděného vzduchu  $\dot{V}_i$  v  $m^3/h$  do místnosti se provádí dle následujících specifik.

<sup>42</sup>Záleží samozřejmě na míře zapuštění do zeminy. Viz norma ČSN EN 13 370 nebo příloha.

<sup>43</sup>Jedná se o dva různé prostory uvnitř objektu, které jsou vytápěny na odlišnou teplotu.

(a) Ztráta samotným větráním

Samotný výpočet výměny vzduchu  $\dot{V}_i$  závisí na místním řešení větrání. Mohou být realizovány následující dva způsoby větrání:

i. Přirozené větrání

Přiváděný vzduch má vlastnosti okolního prostředí a ztráta je úměrná rozdílu výpočtové a venkovní teploty. Výměna vzduchu je dána kvalitou oken a hygienickým požadavkem (je-li dodržován). Množství přiváděného vzduchu se určí následovně:  $\dot{V}_i = (\dot{V}_{inf}^{max}, \dot{V}_{hyg}^{min})$ .

, kde  $\dot{V}_{inf}^{max}$  je ztráta infiltrací a  $\dot{V}_{hyg}^{min}$  je požadovaná ztráta způsobena hygienickými normami.

i. Nucené větrání

Dochází-li k úpravě přiváděného vzduchu, například rekuperací, který nemusí mít parametry okolí. Proto se do výpočtu zavádí redukční činitel  $f_v = \frac{\theta_i - \theta_{in}}{\theta_i - \theta_e}$ , který reflektuje rozdíl teplot vzniklý úpravou vzduchu. Množství přiváděného vzduchu se určí následovně:

$$\dot{V}_i = \dot{V}_{inf} + \dot{V}_{in} f_v + \dot{V}_{\Delta mech}$$

, kde  $\dot{V}_{in}$  je přívod vzduchu do místnosti o teplotě  $\theta_{in}$  a  $\dot{V}_{\Delta mech}$  je rozdíl mezi přívodem a odtahem vzduchu.

(b) Ztráta hygienickými požadavky

Jedná se o minimální požadované hygienické množství výměny vzduchu, které je dáno objemem místnosti a intenzitou přívodu. Toto minimum je dáno hlavně z důvodu snižování vlhkosti a  $CO_2$  v místnosti. Výpočet je jednoduchý:  $\dot{V}_{hyg}^{min} = n_{min} V_i$ , kde  $n_{min}$  je minimální intenzita výměny a  $V_i$  je objem místnosti

(c) Ztráta infiltrací stavebních částí

Infiltrace je způsobena převážně větrem, tím vzniká tlak na obvodový plášť budovy a pomocí spár se do budovy dostává dodatečné množství vzduchu. Pro moderní stavby je infiltrace zanedbatelná, ovšem lze ji dopočítat pomocí vzorce<sup>44</sup>:  $\dot{V}_{inf} = 2V_i n_{50} e_i \varepsilon_i$ , kde  $n_{50}$  je intenzita výměny při rozdílu tlaku 50 Pa,  $e_i$  je činitel zohledňující stínění a  $\varepsilon_i$  je korekce, která zanáší do výpočtu vliv výšky prostoru od povrchu země. [5], [32], [34]

3. Pak můžeme stanovit celkové návrhové tepelné ztráty  $\Phi_i$  z jednoduchého součtu ztrát postupem  $\Phi_{T,i}$  a ztrát větráním  $\Phi_{V,i}$ , tedy: [5], [32], [34]

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad (60)$$

4. Stanovení zátových výkonů, při přerušovaném vytápění

$$\Phi_{rh,i} = A_x f_{rh} \quad (61)$$

<sup>44</sup>Konstanta 2 zavádí nejhorší možný případ, kdy se vše infiltruje z jedné strany budovy.

Výpočet zátopového výkonu slouží v případech, dojde-li k útlumu při vytápění a teplota klesne pod výpočtovou vnitřní teplotu. Musí se zde počítat s akumulací stavebních částí, s vlastností otopného systému, s dobou zátopu a s velikostí poklesu teploty. Tyto hodnoty jsou upraveny pomocí korekčního činitele  $f_{rh}$ . Tento výpočet např. lze uplatnit pro jednodušší případy, kdy platí časové omezení útlumu 8 hodin (noc) s těžkou stavební konstrukcí. [5], [32], [34]

5. Návrh celkového tepelného výkonu je pak rozšířen na tvar:

$$\Phi_i = \Phi_i + \Phi_{rh,i} \quad (62)$$

**Zjednodušená výpočtová metoda** Lze místo komplexní metody (viz výše) využít i zjednodušenou výpočtovou metodu. Zjednodušená metoda je vhodná pro případy, když nám nevádí zanedbání tepelných mostů a infiltrace. Toto zanedbání nám přinese menší zkreslení, ale ve výsledné chybovosti normy to nebude hrát už takovou roli. Pro použití této metody je vhodné zkontrolovat, že budova splňuje hodnotu  $n_{50} < 3h^{-1}$ , popřípadě další podmínky, které mohou být dány na národní úrovni členských států. V našem případě je tento výpočet zcela dostačující.

1. Výpočet návrhové tepelné ztráty prostupem

$$\Phi_{T,i} = \sum_x f_x A_x U_x (\theta_i - \theta_e) \quad (63)$$

, kde  $f_x$  je korekční činitel stavební části dohledatelný v tabulkách.

2. Výpočet návrhové tepelné ztráty větráním

$$\Phi_{V,i} = 0,34 \dot{V}_{hyg}^{min} (\theta_i - \theta_e) \quad (64)$$

, kde se minimální hygienické množství počítá stejně jako v předchozím případě:  $\dot{V}_{hyg}^{min} = n_{min} V_i$

3. Stanovení celkových návrhových tepelných ztrát

$$\Phi_i = (\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}) f_{dod} \quad (65)$$

, kde  $f_{dod}$  je korekce dodatečných tepelných ztrát pro místnosti, které jsou vytápěné na vyšší teplotu.

4. Stanovení celkového návrhového tepelného výkonu

$$\Phi_{HL} = \sum \Phi_{T,i} + \sum \Phi_{V,i} + \sum \Phi_{rh,i} \quad (66)$$

Z tohoto výpočtu pak upravíme hodnotu  $\theta_e$ , kterou využíváme pro dimenzování. Pomocí načtení dat z Wolframu aplikujeme denostupňovou metodu, jak je popsáno výše.

**Odhad potřeby tepla** Norma ČSN EN ISO 13 790 dále dovoluje vypočítat potřebu tepla za pomoci doby vytápění  $t$ :

$$Q = (H_{T,ie} + H_{T,iu} + H_{T,ig} + H_{T,ij})(\theta_i - \theta_e)t \quad (67)$$

Doba vytápění  $t$  je dosazována v megasekundách a vychází z normy ČSN EN ISO 13 790 přílohy F. Dále podle vyhlášky č. 194/2007 Sb. jsou určeny data topné sezóny pro dodávky užitkového tepla a teplé vody, jak bylo zmíněno výše

V našem výpočtu budeme předpokládat pokles denní průměrné teploty pod 13°C, kdy s jistotou je sepnuto tepelné čerpadlo. Jelikož se jedná o automatický prvek, nelze nikdy stoprocentně určit rozsah běhu jednotky. Pro takovéto určení by byl zapotřebí přístup k funkční jednotce a její měření.

Tedy po dopočetění výtopových dnů  $D$  lze jednoduše určit délku časového období vytápění podle vzorce: [32], [34]

$$t = D (24 \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}) \quad (68)$$

### 7.2.9 Chybovost výpočtu

Klasický zápis nejistot měření, jak je všeobecně znám, je vhodný pro měřené hodnoty, jako jsou teploty nebo parametry materiálů. Avšak hlavní výpočet ztrát využívá korekční faktory, které přináší také určitou chybovost. Různé názory udávají přesnost těchto výpočtů, některé dokonce skepticky tvrdí, že chybovost takového výpočtu může být i 200%. Zde je tedy první problematický bod. Další chybovost je zavedena při použití průměrných hodnot teplot pro každý den. Tyto hodnoty jsou odečítány několik let. Ovšem za poslední roky jsme svědky prudké změny klimatu a nelze tedy stoprocentně tvrdit, že tyto hodnoty budou podobné. Zde odhadnout průměrné teploty, která budou v budoucnosti, je stejně náročné jako odhadnout budoucí cenu elektrické energie, jež je další problematická neznámá. Z těchto hlavních důvodů nebudou nejistoty počítány, jsou jen zmíněny informativně. [35], [36]

## Část V

# Parametry a zhodnocení projektu

Následující podkapitoly ohledně parametrů pasivního domu a ekonomické zhodnocení se závěry.

## 8 Popis příkladových součástí

V následující podkapitole bude popsán příkladový dům z hlediska stavební konstrukce a zvolená TČ.

### 8.1 Pasivní budova

#### 8.1.1 Obecně

Pasivní budova je novodobý termín, který popisuje takovou stavbu, která má až 10krát menší spotřebu tepla než dosavadní zástavba. Tato úspora se dosahuje za použití technologií, jako jsou například izolační systémy obvodových stěn, moderní plastová nebo dřevěná okna a v neposlední řadě získávání energií, například ze Slunce. Pasivním domem může být pak označena taková budova, která nejen že splňuje požadavky úniků tepla dle normy, ale také na její vytápění není použit aktivní prvek, jako právě dříve probírané otopné systémy. Vytápění těchto moderních budov probíhá pomocí vzduchové ventilace a rekuperace vzduchu. Maximálně je zde malý elektrický ohřev (náročnější požadavky). Tímto samozřejmě odpadají drahá zařízení, jako jsou plynové nebo uhelné kotle, což vede ke snížení lokálních emisí. Oblíbená metoda vytápění je rekuperací odtahovaného vzduchu do přívodu čerstvého vzduchu. Výhoda tohoto systému není jen ve snížení cen za provoz, ale také filtrace přívodního vzduchu, což ocení alergici. Dalším možným pomocným řešením je přivádět vzduch přes zemní kolektory, nebo využíváním solární energie. Jistou nedílnou součástí pasivního domu jsou úsporné elektrospotřebiče.

Vzhledem k nemožnosti efektivního ukládání elektrické energie je nutno spotřebovávat všechnu energii, která se aktuálně vyrobí. Po dosažení nižší energetické náročnosti jednotlivých budov, nebude docházet k takovému zatížení a lze energii využít jinde. Zároveň rostoucí trend spotřeby energie, nejen v průmyslu, přináší otázky, zda bude dodávka této komodity pořád stálá<sup>45</sup>. Proto je termín pasivace budovy v posledních dekádách čím dál více zmiňován. Právě pasivní budova dokáže šetřit danou energii a tím že zadrží teplo na delší dobu. To přináší nespornou výhodu právě v tom, že při nedodávce energie nemusí dojít ke kritické situaci a s tím i spojené panice. Tento efekt se dosahuje za pomoci moderních návrhu s použitím špičkových materiálů. To samozřejmě sebou nese i nevýhodu a to jsou vyšší investiční náklady. Projekt CEPHEUS prokázal na více jak 100 bytových jednotkách, že tyto vícenáklady se pohybují okolo 15%. Návratnost této investice je složité spočítat, obecný odhad bývá okolo 25 let.

Podle cen od ÚRS Praha, a.s se modelová novostavba se 120 m<sup>2</sup> pohybuje okolo 2 600 000 Kč s vytápěním plynem za 15 539 Kč/rok. Pro stejný modelový příklad v pasivní verzi a dodatečnými náklady 15% se cena pohybuje 2 990 000 Kč s vytápěním plynem za 4 636 Kč/rok. [5], [37]

<sup>45</sup>Například v pásmu Gazy je elektrická energie krizová komodita a momentální dodávka je 4 hodiny za den.

## 8.1.2 Konstrukce

Pro získání pasivní budovy je několik možností, ale je pár zásadních bodů, které jsou důležité a naleznete je v následující tabulce. Tyto hodnoty jsou otázkou materiálu a zpracování konstrukce. Lze využít dražší materiály, které mohou být tenčí, místo klasických materiálů, které ovšem nabývají vyšších rozměrů. Zároveň v poslední době roste obliba recyklovatelných materiálů, nebo dokonce přírodních, jako jsou například slaměné balíky. [37]

Místo	Hodnoty	Poznámka
Izolace	$U_{PLAŠŤ} < 0,15 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$	Tloušťka izolace 20 až 35 cm.
Okna	$U_{OKNA} < 0,8 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$	Prostup solárního tepla aspoň 50%.
Těsnost	$n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$	Blower test, pro těsnost budovy.
Rekuperace	$\eta_{REKUPERACE} > 80$	Předávání tepla z odtahu na přívod.

Tabulka 12: Přehled požadavků pro pasivní dům. [T6]

**Obvodové zdivo** Demonstrujícím příkladem bude následující varianta obvodového zdiva (bez vnitřních příček a základů), kdy se jedná o zeď složenou ze 4 vrstev. Z venkovního pohledu tvoří zeď tyto materiály:

1. Vnější omítka 1 cm,  $\lambda = 0,8 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ .
2. Izolace polystyrén 35 cm,  $\lambda = 0,04 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ .
3. Nosná cihlová stěna 18 cm,  $\lambda = 0,15 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ .
4. Vnitřní omítka a barva 2 cm,  $\lambda = 0,8 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ .

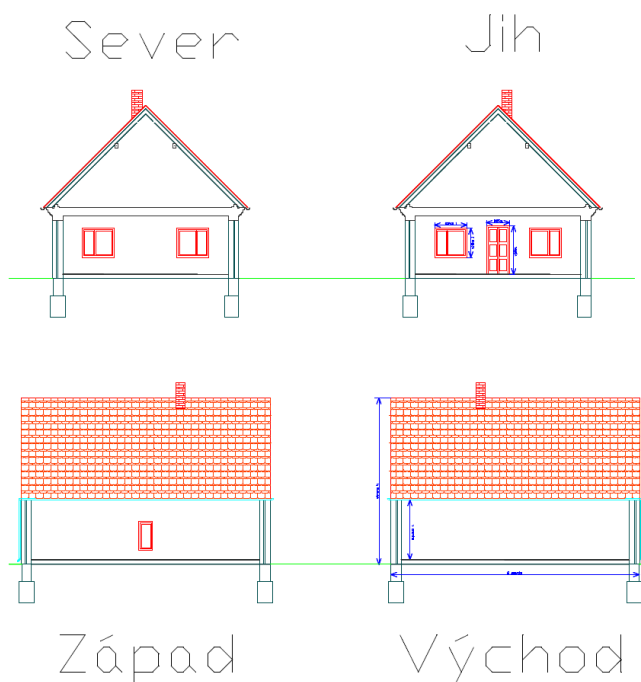
Tepelný odpor této konfigurace je  $R_{th} = 11,132 \text{ (m}^2\text{KW}^{-1}\text{)}$ , což činí výborný základ pro pasivní dům. Následně získáme prostup příkladovou stěnou rovný  $U_{STĚNA} = 0,08 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ . Tato hodnota vyhovuje podmínce pasivní budovy se značnou rezervou (viz tabulka 12).

Takovýto způsob je ideální pro již postavenou budovu, kde se právě zatepluje pomocí polystyrénu nebo vaty obvodová stěna. Podle typu nosných cihel se pak volí tloušťka izolace. U polystyrénu se doporučuje tloušťka 25 až 35 cm, každé další zvyšování tloušťky polystyrénu není ekonomicky přínosné - nejedná se totiž o lineární závislost mezi cenou materiálu a jeho přínosem. [5], [37]



Obrázek 17: Schema struktury obvodové stěny, [O14]

**Ostatní stavební prvky** Každá budova má svojí technickou dokumentaci, kde je nutné vybrat rozměry dle uvedených kót (viz Obrázek). Mimo obvodových stěn je nutné získat rozměry oken a dveří. Tyto rozměry se využijí k výpočtu ploch oken a dveří. Po získání ploch je nutno opět získat tepelné parametry (prostup), ty se získají z katalogu výrobce.



Obrázek 18: Orientační nákres příkladového domu.

Následuje konkrétní výčet použitých stavebních prvků při výpočtu. Konkrétně se jedná o okna a dveře, a také podlahové a stropní konstrukce, viz následující tabulky.

#### 1. Okna

Za příklad výplně pro okna byl zvolen produkt firmy VEKA z řady Softline s označením 82 Plus XL. Jedná se o typ okna se 7-mi komorami v rámu a 6-ti v křídle s dvojsklem či trojsklem.

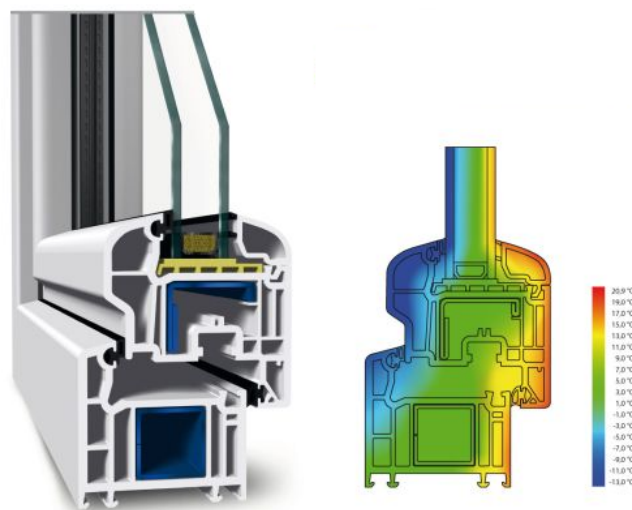
Popis	$U_W (Wm^{-2}K^{-1})$	$U_f (Wm^{-2}K^{-1})$	$U_g (Wm^{-2}K^{-1})$
SVT 3575 dvojsklo	1,1	1,1	1,1
SVT 3573 trojsklo	0,8	1,0	0,6
SVT 3574 trojsklo	0,87	1,0	0,7
SVT 3572 trojsklo	0,74	1,0	0,5

Tabulka 13: Popis produktu VEKA Softline 82 Plus XL. [T7]

Dle této nabídky vyhovuje varianta SVT 3572, která splňuje podmínku pro pasivní dům a je tedy

pod hodnotou  $0,8 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ . Zároveň nová okna splňují i podmínky pro těsnosti  $n_{50}$ , který se ověřuje pomocí Blower-door testu. Tento test funguje na principu vhánění vzduchu do domu, kde se nesmí vyměnit vzduch v celé budově víc jak 0,6-krát za hodinu, a to vše při rozdílu tlaků 50 Pa<sup>46</sup>. Dalším možným testováním je využití termovize, tedy nalezení „slabých míst“.

[38]



Obrázek 19: Rez produktem firmy Oknotherm, včetně termovizního snímku. [O15]

## 2. Dveře

Byly vybrány právě dveře ze stejné produktové řady jako okna, tedy byl zvolen produkt VEKA softline 82 MD s izolačním trojsklem SVT 4314. Jedná se o plastové dveře s částečně prosklenou výplní. Pro dveře platí analogické věci jako pro okna. Na první pohled je patrné, že dveře mají horší parametry. V našem případě se jedná o zanedbatelný rozdíl, který ve většině případů je eliminován vstupním prostorem. Extra kvalitní vstupní dveře jsou drahé a těžké.

[38]

Popis	$U_D (\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1})$	$U_f (\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1})$	$U_g (\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1})$
SVT 3596 dvojsklo	1,2	2,0	1,1
SVT 4314 trojsklo	0,97	1,2	0,6

Tabulka 14: Popis produktu VEKA Softline 82 MD. [T7]

<sup>46</sup>Tato hodnota je odvozeno od rychlosti větru, který by teoreticky na budovu dopadal.



### 3. Podlahová konstrukce

Podlaha je z hlediska rekonstrukci nejsložitějším prvkem a to právě kvůli složitému přístupu. Proto je na první pohled „obyčejná“. Struktura podlahy je zvolena z následujících materiálů:

- (a) Keramická dlažba 8 mm,  $\lambda = 1,01 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ .
- (b) Pojící malta 5 mm,  $\lambda = 1,15 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ .
- (c) Pórobeton 50 cm,  $\lambda = 0,21 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ .
- (d) Upravená zemina 100 cm,  $\lambda = 1,5 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ .

Tepelný odpor této konfigurace je  $R_{th} = 3,23 \text{ (m}^2\text{KW}^{-1}\text{)}$ . Prostup tímto prvkem pak bude  $U_{PODLAHA} = 0,31 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ . [5]

### 4. Stropní konstrukce

Jelikož teplo utíká směrem nahoru, je strop potenciálním slabým místem. Strop bude dodatečně zateplen vlnovými deskami a překryt dřevěnou konstrukcí. Právě zateplení stropů bývá zanedbáno a je nahrazeno zateplením střechy. Tato varianta je ovšem nákladnější, ale poskytuje možnost vytvoření podkrovní. Proto pro stropní konstrukci byly vybrány tyto materiály:

- (a) Vnitřní omítka 1 cm,  $\lambda = 0,8 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ .
- (b) Nosná cihla 30 cm,  $\lambda = 0,13 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ .
- (c) Minerální izolace 20 cm,  $\lambda = 0,04 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ .
- (d) Dřevěné desky 2 cm,  $\lambda = 0,11 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ .

Tepelný odpor této konfigurace je  $R_{th} = 7,67 \text{ (m}^2\text{KW}^{-1}\text{)}$ , což dá  $U_{STROP} = 0,13 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ . [5]

Celá tato konfigurace, včetně korekčních koeficientů (viz přílohy) má velikost jednotlivých měrných tepelných toků následující:

- 1. Přímý tepelný tok do okolí  $H_{T,ie} = 22,1 \frac{\text{W}}{\text{K}}$
- 2. Tepelný tok přes nevytápěný prostor  $H_{T,iu} = 11,6 \frac{\text{W}}{\text{K}}$
- 3. Tepelný tok zeminou  $H_{T,ig} = 7,6 \frac{\text{W}}{\text{K}}$
- 4. Tepelný tok větráním  $H_{V,i} = 50,5 \frac{\text{W}}{\text{K}}$

Celkově to činí  $H_{CELK} = 91,8 \frac{\text{W}}{\text{K}}$ . Následovný topný výkon za topnou sezónu 2016/2017 je 7,7 MWh s potřebou tepla přibližně 25 GJ. Zároveň je nutno dimenzovat otopný systém na min. 3,1 kW (+TUV). Pro tuto možnost padá varianta na tuhá paliva<sup>47</sup>, kdy tyto zařízení mají výkony až od 10tek kW. Další varianta je pomocí plynového kotle od firmy Protherm Panther 12KOO za 16 000 Kč, který má výkon 3,4 až 12,4 kW. Ze zástupců elektrokotlů se hodí kotel Protherm Ray 6k za 14 000 Kč, s plynulou regulací od 1 kW k 6 kW. Poslední variantou je kvalitní tepelné čerpadlo, jemuž bude věnována následující kapitola. [39]

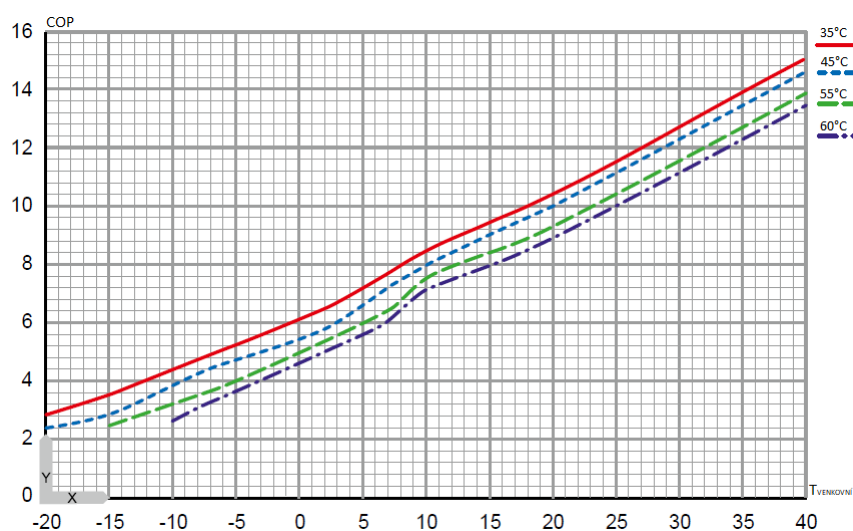
<sup>47</sup>Například hnědé a černé uhlí, koks nebo dřevo.

## 8.2 Tepelné čerpadlo

### 8.2.1 Stiebel Eltron: WPL 10 AC

Pro zvolený objekt je vybráno jako hlavní řešení tepelné čerpadlo od společnosti Stiebel Eltron s označením WPL 10 AC o výkonu 6,7 kW. Jedná se o moderní čerpadlo typu vzduch-voda v kompaktním venkovním provedení. Čerpadlo je prezentováno jako velice tichá jednotka (60 dB) s jednoduchou možností instalace. Zároveň se jedná o jednotku v energetické třídě A+. Připojení kompresoru a pomocného topení je třífázové, samotné řízení jednotky je v jednofázovém provedení a nutno jistit s C16. Rozměry čerpadla jsou 900x1270x593 s hmotností 120 kg.

Důležité jsou parametry samotného čerpadla z technického listu firmy, pro přehlednost je uveden graf. Tyto hodnoty jsou nutné pro popis chování tepelného čerpadla vůči venkovní teplotě. Na následujícím grafu jsou teploty topné větve v závislosti na venkovní teplotě a COP. [26]



Obrázek 20: Charakteristika COP tepelného čerpadla WPL 10 AC. [O16]

Cenový výčet potřebných dílů je v následující tabulce, kde je krom venkovní jednotky, také její regulátor WPMW 3 a vnitřní zásobník SBP 100 s možností zabudování elektrického ohřívače.

Popis	Počet	Cena s DPH
Jednotka WPL 10 AC	1	152 681,-
Regulátor WPMW 3	1	11 643,-
Zásobník SBP 100	1	16 093
Konzole WK 1	1	4 283,-
Montáž a instalační materiál	1	25 000,-
Schválení instalace	1	5 000,-
Celková cena projektu		214 700,-

Tabulka 15: Cena systému Stiebel Eltron: WPL 10 AC. [T8]

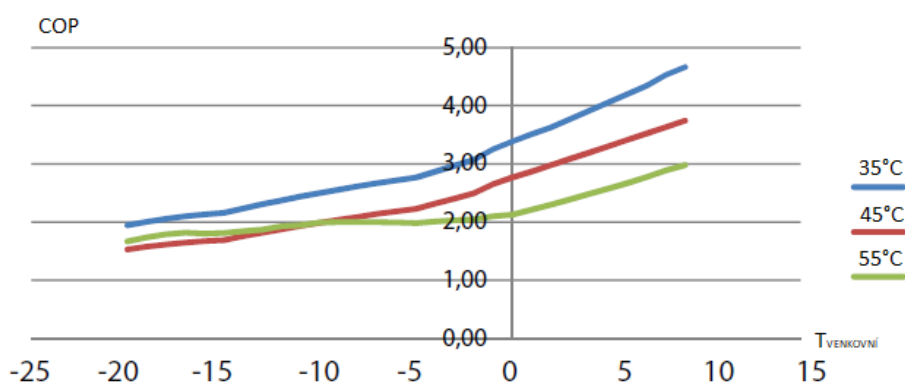
### 8.2.2 NIBE: Split AMS 10-8

Jako záložní řešení lze použít čerpadlo od společnosti NIBE a to z řady Split s označením AMS 10-8 o výkonu 8 kW. Jedná se o venkovní jednotku s kompresorem firmy Mitsubishi s plynulou regulací výkonu. Napájení venkovní jednotky je opět třífázové s potřebným jištěním C16. Vnitřní jednotka HK 200S má navíc zabudovaný elektrokotel o výkonu 3x3 kW a objemu 180 litrů. V ceně montáže je potřebné potrubí do 5ti metrů délky. [40]

Popis	Počet	Cena
Jednotka Split AMS 10-8	1	Set 124 000
Regulátor SMO20	1	
Vnitřní jednotka HK 200S	1	
Ohřev odvodu kondenzátu	1	4 000
Konzole na zem	1	2 200,-
Montáž a instalační materiál	1	26 000,-
Schválení instalace	1	5 000,-
<b>Celková cena projektu (s DPH)</b>		<b>161 200 ,-</b>

Tabulka 16: Cena systému NIBE: AMS 10-8. [T9]

Výrobce opět poskytuje charakteristiku topného faktoru v závislosti na venkovní teplotě pro různé požadavky otopné vody - 35, 45 a 55 °C.



Obrázek 21: Charakteristika COP tepelného čerpadla AMS 10-8. [O17]

Obě varianty vychází cenově relativně draze a je tedy nutno prodiskutovat jejich návratnost. K tomu poslouží následující kapitola.

## 9 Ekonomické zhodnocení

V následujících podkapitolách si probereme základní ekonomické pojmy, ceny energií a možné dotace.

### 9.1 Základní pojmy

#### 9.1.1 Náklady

Náklady lze dělit na investiční a provozní. Investiční náklad zahrnuje prvotní investici do projektu, která nás u tepelného čerpadla bude zajímat. Do této položky spadají náklady na celkový projekt, tedy samotné zařízení, instalace a revize. Investiční náklady mohou být rapidně sníženy za pomoci například dotací. Další položkou v každém projektu jsou pak provozní náklady, kdy záleží na daném typu zařízení. Provozní náklady pro tepelné čerpadlo bude tvořit cena elektřiny a servis. [41]

#### 9.1.2 Časová cena peněz

Časová cena peněz zahrnuje hodnotu peněz za určitý čas. Vlivem několika faktorů, jako je například úrok, roste časová cena peněz. Vliv času se bere s životností dané investice, kdy investované peníze by měly získávat na hodnotě. [41]

#### 9.1.3 Inflace

Inflace je brána jako periodický děj, který směřuje k růstu cen, z důvodů oslabování kupní síly měny v dané zemi. Jinými slovy, za stejný obnos peněžních jednotek se koupí méně zboží ze spotřebitelského koše. Kvantifikace míry inflace se provádí právě pomocí indexu spotřebitelských cen vztažené k určitému období, například roku. Nejčastěji se počítá s inflací 2% za rok. Z údajů českého statistického úřadu lze vyčíst inflaci 2,7% danou k březnu 2016 a 2017. [41], [42], [44]

#### 9.1.4 Cash flow

V překladu jde o peněžní tok, který se vypočítává pomocí rozdílu příjmu a výdajů. Cash flow se provádí pro každé období, nejčastěji rok, celého projektu. [41]

$$CF = \text{příjem} - \text{výdaj} \quad (69)$$

#### 9.1.5 Prostá doba návratnosti

Prostá doba návratnosti, nebo také doba návratnosti  $T_s$  se vyjadřuje pomocí čisté investice  $IN$  a ročního peněžního toku  $CF$ . Zjišťuje nám čistou dobu, kdy se daná investice vrátí bez uvažování časové ceny peněz a nelze takto porovnávat investice mezi sebou. [41]

$$T_s = \frac{IN}{CF_{\text{roční}}} \quad (70)$$

### 9.1.6 Diskont

Diskont je označován písmenem  $r$ . Při výpočtu se využívá jako diskontní činitel  $1 + r$ , který slouží k přenesení na jeden časový bod pro porovnání. Jeho výše se odvíjí od typu projektu, kde zahrnuje i míru rizika. Diskont lze měnit dle situace, viz příložený Excel. [41]

### 9.1.7 NPV

Je zkratka z anglického „net present value“, nebo-li čistá současná hodnota. Ve zkratce pomáhá k rozhodnutí, jestli projekt uskutečnit, nebo investovat jinde. Čistá současná hodnota bere v úvahu časovou cenu peněz a cash flow přes celou životnost projektu. Pro vyhodnocení se využívá logiky kladného a záporného NPV - při kladné hodnotě je projekt doporučený<sup>48</sup> a při záporné hodnotě je projekt nepřijatelný. Cílem podnikatele je NPV maximalizovat. Pro výpočet slouží jednoduchý vzorec:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (71)$$

, kde  $r$  je diskont (úroková míra),  $t$  je doba životnosti projektu a  $CF$  je cash flow.

Při položení rovnice rovné 0, získáme místo diskontu tzv. vnitřní výnosové procento, tedy  $IRR$ . Investice je přijatelná v případě, je-li  $IRR > r$ . Čím větší je vnitřní výnosové procento, tím rychleji se daná investice vrátí. Poté následuje doba zisku, nenastanou-li neočekávané výdaje. [41]

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} \quad (72)$$

Právě pomocí NPV zjistíme, jestli je tepelné čerpadlo pro nás návratové. Velikost NPV je potřeba posoudit jako hodnotu, která nám orientačně řekne, kolik projekt „vynese“. Do této hodnoty ovšem nejsou započteny negativní faktory, jako jsou například nepříjemnosti spojené s výstavbou. Také zde nejsou započteny pozitivní faktory, jako je například ekologická část projektu. Tyto věci je nutno vyhodnotit subjektivně v daném místě a rozumově spojit s hodnotou NPV.

V příloženém Excelu budou ekonomické údaje v záložkách „Spotřeba TČ“, kde TČ bude vždy daný aplikovaný model čerpadla. Pro výpočet NPV vhodně využijeme funkci excelu pro jeho výpočet, tedy:

$$NPV = \text{ČISTÁ.SOUČHODNOTA}(r; CF) + INV \quad (73)$$

,kde  $r$  značí zvolený diskont (buňka B7),  $CF$  značí součet cash flow v jednotlivých letech a  $INV$  značí prvotní investici se záporným znaménkem. Všechny hodnoty se mají měnit podle požadavků investora a dané situace, což nám dává vysokou variabilitu použití. Následuje zhodnocení vstupních cen energií a možnosti dotací, která nám při výpočtech pomůžou se dostat k realističtějšímu datu návratnosti.

<sup>48</sup>Samozřejmě při porovnávání více projektů se bere ten s větším NPV.

## 9.2 Ceny energií

Důležitým vstupním údajem jsou náklady na vytápění. Orientační ceny energií jsou v následující tabulce a jde o ceny platné od 1.1.2017. Složka elektřiny se primárně skládá z ceny za distribuci a přenos, z podpory obnovitelných zdrojů, ze systémových služeb, z práce operátora trhu a daně. Vybrány jsou dva tarify a to obvyčejnější jen s vysokým tarifem a druhý dvou-tarifový s dotací nízkého tarifu 20ti hodin<sup>49</sup>. Cena plynu je včetně DPH a jedná se o celkovou cenu za odebraný plyn.

Typ tarifu	Distributor	Cena za MWh
Elektřina tarif D 02d	E.ON	4 311,3 Kč
	PRE	4 070,3 Kč
	ČEZ	4 099,7 Kč
Elektřina tarif D 57d	E.ON	2 974 Kč
		2 456,7 Kč
	PRE	2 612,9 Kč
		2 338,4 Kč
	ČEZ	2 504,7 Kč
		2 431,4 Kč
Množství odebraného plynu	Distributor	Cena za MWh
15 až 25 MWh za rok	E.ON	1 328,8 Kč
	PPas	1 255,5 Kč
	innogy	1 327,5 Kč

Tabulka 17: Orientační ceny energetických komodit. [T10]

Budoucí výhledy na trhu elektřiny predikují, že elektřina bude v příštích letech spíše nabírat na své hodnotě, pokud se nezrodí nečekaný inovativní zdroj energie. Samotný odhad cen je ovšem obtížný a složitý, a proto použijeme vzorec pro periodický cenový nárůst energií  $C_{en}$ : [5], [41]

$$C_{en} = C_{2017} \left(1 + \frac{k_{en}}{100}\right)^t \quad (74)$$

, kde  $C_{2017}$  je současná cena komodity v Kč,  $k_{en}$  je koeficient nárůstu ( $2$ ,  $t$  je rok).

## 9.3 Dotace

Na tepelná čerpadla lze získat státní dotaci z programu Nová zelená úsporám pro rodinné domy. Konkrétně jde o podprogram Efektivního využití zdrojů energie, který počítá s dotací na modernizaci otopných zdrojů. Tento dotační program běží od roku 2015 a potrvá do roku 2021. Míra dotace se řídí podle typu nového systému a podoblasti, avšak nejvýše do 50% řádně doložitelných výdajů. Je nutno splnit podmínku maximální roční měrné potřeby tepla na vytápění po realizaci (dle podoblasti, ale pod  $90 \text{ kWh m}^{-2} \text{rok}^{-1}$ ). Je nutno zároveň dimenzovat tepelné čerpadlo jako hlavní zdroj energie na vytápění, případně ohřev vody. Při dodržení podmínek je výše dotace 60 000 Kč na tepelné čerpadlo vzduch-voda. U tepelných čerpadel voda-voda a země-voda je tato částka zvednuta na 80 000 Kč. [43]

<sup>49</sup>Nejdřív je cena vysokého tarifu a pod ní následuje cena za nízký tarif.

## 10 Závěrečné vyhodnocení

V následující finální podkapitole si probereme návratnost projektu a zhodnocení TČ s vyvozením závěrů.

### 10.1 Návratnost

Nejdiskutovanější otázkou takovéto investice je její návratnost. Na tuto problematiku dívat takto.

První způsob je pro novostavbu. V případě novostavby je nutno do ceny jakéhokoliv kotle napočítat také cenu komínu, popřípadě zavedení přípojky, jedná-li se o plyn. Právě plynový kotel v tomto případě už nevychází a je lepší nasadit tepelné čerpadlo, nebo jiný typ kotle. V našem případě ovšem tuto variantu nemáme, tudíž je toto řešení zmíněno spíše informativně.

Pro náš případ, nasazování čerpadla na již stojící budovu, bude počítána návratnost vůči elektrickému kotli, který už je zaveden a také vůči plynovému kotli. Kotle na tuhá paliva nelze brát v úvahu, jelikož je zde náročné započítat krom cen paliva, také jeho přípravu a eventuální přikládání. Z tohoto důvodu budeme porovnávat právě čistě automatické systémy.

### 10.2 Zhodnocení tepelných čerpadel

#### 10.2.1 Pasivní dům

V tabulce je přehled chování příkladové budovy se spotřebou tepelného čerpadla.

Ročník	Potřeba tepla (GJ)	Potřeba elektřiny (kWh)	Průměr teplot (°C)	WPL 10 AC			Split AMS 10-8		
				TČ (kWh)	K1 (kWh)	COP (-)	TČ (kWh)	K1 (kWh)	COP (-)
90/91	26,55	7 375,44	9,93	1 907,62	37,67	3,79	1 920,97	21,77	3,80
95/96	29,79	8 274,84	9,06	2 251,31	64,34	3,57	2 321,05	45,75	3,49
00/01	26,40	7 334,48	9,96	1 949,42	30,92	3,70	1 983,33	18,84	3,66
05/06	28,79	7 997,14	9,30	2 235,57	19,38	3,55	2 328,99	0,09	3,43
10/11	30,86	8 573,03	8,53	2 434,77	120,2	3,36	2 574,62	62,64	3,25
15/16	24,63	6 841,66	10,95	1 749,70	0	3,91	1 747,03	0	3,92
16/17	25,98	7 216,96	10,45	1 920,92	14,76	3,73	1 947,36	6,59	3,69
Průměr	27,57	7 659,08	9,74	2 064,19	40,61	3,66	2 117,62	22,24	3,61
Ø 90-17	27,80	7 721,2	9,60 °C	2 084,63	77,12	3,57	2 147,31	52,39	3,51

Tabulka 18: Přehled chování v jednotlivých obdobích.

Následuje zhodnocení jednotlivých čerpadel za pomoci statistických údajů, které byly odečítány mezi lety 1990 a 2017. Společné budou parametry roční statistické spotřeby energie, která činí 7,72 MWh, tedy v číslech měrných celkových ztrát  $91,8 \frac{W}{K}$ . Pro pokrytí této potřeby lze zvolit z varianty elektrokotel, plynový kotel nebo tepelné čerpadlo s elektrokotlem. Orientační použitá cena 1 MWh elektřiny je 2 545 Kč a 1 MWh plynu je 1 328 Kč. První možnost, elektrokotel, vychází na 19 654 Kč ročně. Pro druhou zmíněnou variantu, plynový kotel, vychází roční náklady na 10 258 Kč. Při volbě tepelného čerpadla uvedeme dvě varianty, kdy každé projde jednou za pět let údržbou v ceně 1 500 Kč.

**Stiebel Eltron WPL 10 AC** Při volbě tohoto typu čerpadla dochází k roční spotřebě tepelného čerpadla na 2,08 MWh s dotápáním elektrokotlem o 0,07MWh s hranicí bivalence -6,48°C. Náklady na provoz tohoto systému pak vychází na 5,503 Kč ročně. Roční úspory pak vychází na 14 151 Kč oproti vytápění elektrokotlem. Úspory vůči vytápění plynovým kotlem jsou 4 755 Kč, bez zohlednění plynové přípojky. Tato přípojka podle ceníku Gasnet.cz vychází až na 30 000 Kč v délce 2 metrů a další započatý metr stojí okolo 1 300 Kč. Plynový model bude jen pro srovnání, jelikož je velice rozšířený.

Při těchto parametrech a cenách vychází NPV v 15-tém roce rovno -30 104 Kč a při reinvestici 100 000 Kč v 15-tém roce, bude NPV v 25-tém roce rovno -19 168 Kč. Na základě těchto údajů se tento model striktně nedoporučuje.



Obrázek 22: Graf vlivu změn cen elektřiny.

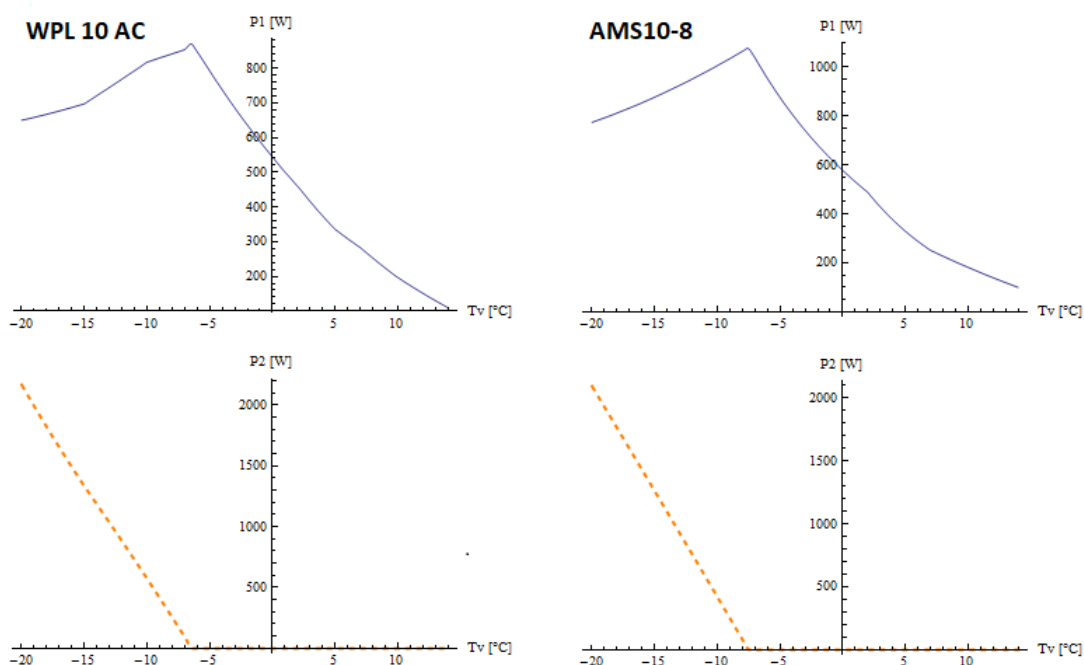
Předchozí graf znázorňuje spekulace na růstu cen a vliv na náš projekt, kdy se jedná o momentální skokové zdražení. První spekulování ceny je o 40%, tedy o 1 207 Kč na 3 752 za 1 MWh. Je jasné, že čím vyšší cena, tím rychleji se projekt zaplatí. Druhé spekulování je zvýšení ceny elektřiny o 20%, tedy o 602,5 Kč na 3 148 Kč za 1 MWh dosáhneme NPV v 15-tém roce rovné nule. Následovná reinvestice 100 000 Kč do systému a prodloužení chodu na 25 let provozu dostáváme NPV v 25-tém roce rovné 31 005 Kč. Tyto hodnoty jsou kladné a projekt je mírně doporučen, ovšem s upozorněním na rizikovitost spekulace. Právě spekulovat na zvýšení cen elektřiny přináší obrovskou nejistotu. Jiná varianta by byla, kdyby došlo ke zvýšení ceny energie a následné fixaci na dobu určitou. Ovšem tyto fixace dnes jsou po dobu maximálně 2 či 5-ti let a spíše se slibují lepší ceny.

Do výpočtu ovšem nelze započítat výhody systému jako je například větší možnost větrání, nebo také možnosti chlazení v letních měsících. Tyto data je nutno posoudit subjektivně při konzultaci s investorem. Proto je varianta „mírně doporučená“.



**Nibe Split AMS 10-8** Jedná se o levnější variantu než v předešlém případě a to o 53 500 Kč. Roční spotřeba tohoto systému je nepatrně vyšší a to 2,14 MWh od tepelného čerpadla a pomocný elektrokotel spotřebovává 0,05 MWh s hranicí bivalence -7,52 °C. Náklady na provoz této varianty jsou 5 600 Kč ročně a úspora činí 14 053 Kč oproti vytápění elektrokotlem. Je zde malý rozdíl v číslech oproti předchozí variantě. Tento rozdíl způsobuje hlavně menší účinnost tepelného čerpadla Nibe, které běží sice do nižších teplot, ale spotřebovává také více energie, konkrétně o 62,7 kWh ročně a zároveň rozdíl v běhu elektrokotlů činí pouhých 24,7 kWh ročně ve prospěch Nibe. Ve výsledku dochází ke zvýšené spotřebě sady Nibe o 38 kWh za rok, tedy zvýšení ročních nákladů o 97 Kč.

Investiční rozhodování lze provést opět podle vypočtení NPV, která po 15-ti letech provozu činí 20 554 Kč a při reinvestici, jako v předchozím případě, lze získat NPV v 25-tém roce s hodnotou 29 596 Kč. Samotná návratnost projektu je při dnešních cenách elektřiny po 12-ti letech provozu. Při těchto výsledcích lze o projektu uvažovat, pokud investor nemá lepší řešení, kam investovat. Opět je nutno promyslet i nepříjemnosti se stavbou spojené.



Obrázek 23: Graf spolupráce čerpadla (P1) a elektrokotel (P2).

**Resumé** pro pasivní dům je takové, že je lepší aplikovat sestavu Nibe Split AMS 10-8, která se aspoň za svojí definovanou životnost 15-ti let vrátí. Ideální stav je získat systém s návratností po 10-ti letech, kvůli větší jistotě životnosti.

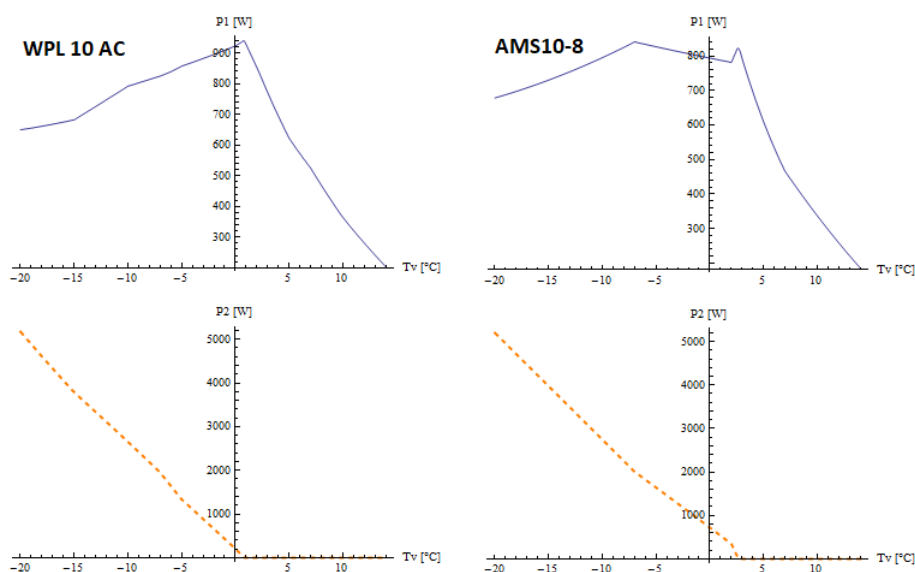
Dále si probereme variantu s horším zateplením, tedy více praktický příklad.

## 10.2.2 Aktivní dům

Z důvodů relativně nepříznivých výsledků při aplikaci na příkladový pasivní dům, byl vybrán průměrný „aktivní“<sup>50</sup> dům, na který bylo nasazeno tepelné čerpadlo<sup>51</sup> WPL 10 AC a AMS 10-8. Tento dům nemá zateplený strop a obvodové stěny jsou pokryty jen 15-ti centimetry polystyrénu. Zároveň je osazen dvojicí oken s trojsklem a čtveřicí oken s dvojsklem. Rozměrově je dům totožný. Výsledná statistická spotřeba elektřiny za 1 rok je 14 MWh. S takovými parametry dosahuje dům měrných celkových ztrát  $170,3 \frac{W}{K}$ . Při použití vytápění elektrokotlem by náklady činily 36 450 Kč, při využití plynové kotle by náklady činily 19 026 Kč. Tepelné čerpadlo zase rozebere ve dvou variantách.

**Stiebel Eltron WPL 10 AC** Na rozdíl od pasivního domu, dochází při využívání na „aktivním“ domě k větší spotřebě tepelného čerpadla. První aplikované čerpadlo je od společnosti Stiebel Eltron s označením WPL 10 AC, kdy bivalentní provoz tepelného čerpadla spotřebuje 3,41 MWh za rok a spotřeba elektrokotle je 1,16 MWh za rok s hranicí bivalence na 0,83 °C.

Tedy při využití kombinovaného tepelného čerpadla činí náklady 11 656 Kč ročně. Celkové orientační roční úspory jsou 24 794 Kč. Při takovéto úspoře dochází k vrácení projektu rychleji. Po 15-ti letech provozu bude NPV rovné 35 919 Kč a při reinvestici v 15-tém roce ve výši 100 000 Kč, bude NPV v 25-tém roce rovno 90 870 Kč. Samotný projekt se zaplatí po 12-ti letech provozu. Při těchto zjištěních je jasné, že aplikovat tepelné čerpadlo na tento typ domu je výhodné a lze doporučit.



Obrázek 24: Graf spolupráce čerpadla (P1) a elektrokotel (P2).

<sup>50</sup>Za aktivní dům budeme brát takový, který nedosahuje ani na poloviční tepelné parametry co pasivní.

<sup>51</sup>Budou použita stejná čerpadla - pro porovnání.

**Nibe Split AMS 10-8** Při volbě druhého zmíněného čerpadla od společnosti Nibe s označením AMS 10-8 se dostaneme k trochu odlišným výsledkům. Parametry domu a ceny energií zůstávají stejné, tedy i potřeba tepla domu je stejná, tedy 14 MWh za rok. Hranice bivalence leží na 2,68 °C, což je oproti předchozímu případu podstatně výš. S tím je spojená průměrná spotřeba tepelného čerpadla, která ročně vychází na 3,18 MWh se spotřebou elektrokotle na 1,86 MWh. Tedy o 495,6 kWh více, než v případě čerpadla WPL 10 AC, kdy tento rozdíl vzniká obdobně jak bylo popsáno na pasivním domě.

Při stejných cenách energií činí náklady na vytápění tepelným čerpadlem s pomocným elektrokotlem na 12 918 Kč. To činí úspory 23 535 Kč, tedy o 1 262 Kč ročně méně než při použití WPL 10 AC. Po 15-ti letech provozu činí NPV necelých 52 347 Kč a se stejnou reinvesticí pak v 25-tém roce je NPV rovno 82 584 Kč. Tato varianta využití je nejvýhodnější a je doporučena.

**Resumé** pro aktivní dům je takové, že lze obě varianty použít, ale výhodnější je sestava Nibe, která má kratší návratnost, než-li sestava Stiebel Eltron. Následuje kombinovaná varianta, kdy se investor chce zateplit a i nasadit tepelné čerpadlo.

### 10.2.3 Kombinovaný dům

Obě předešlé varianty jsou zhodnoceny jen z hlediska investice do tepelného čerpadla. Dnešní trendy ovšem hovoří jasně o snaze zateplování budov. Tato snaha je hnána nejen ze strany obyvatel, ale také ze strany státu díky dotacím. Je důležité upozornit, že zateplení obydlí způsobí i příjemnější prostředí v letních měsících. Tedy poslední uvažovaná varianta bude taková, kdy aplikujeme nejdřív čerpadlo a po 7-<sup>mi</sup><sup>52</sup> letech provozu dojde k zateplení obydlí na parametry pasivního domu. Jelikož se jedná o velice specifickou variantu, je spíše tato varianta informativní. Je zde velká investice do celé budovy v několika letech. Ceny za zateplení nejsou do ekonomického zhodnocení počítány.

**Stiebel Eltron WPL 10 AC** Při nasazení čerpadla WPL 10 AC a následném zateplení domu v 7-mém roce života jsou údaje následující: NPV v 15-tém roce bude necelých 724 Kč a s reinvesticí 100 000 Kč bude NPV v 25-tém roce rovno 11 662 Kč. To je o 29 380 Kč lepší výsledek než u nasazení na pasivní dům. Oproti aktivnímu domu je zde samozřejmě ztráta 35 228 Kč v 15-tém roce provozu. Hodnoty nejsou přesvědčující a proto je tato varianta nedoporučena.

**Nibe Split AMS 10-8** Při nasazení tohoto systému a následném zateplení v 7-mém roce života je NPV v 15-tém roce rovno 33 271 Kč s následnou reinvesticí bude NPV v 25-tém roce rovno 42 313 Kč. Tyto hodnoty jsou po 15-ti letech provozu o 12 717 Kč lepší než v případě pasivní varianty budovy, ale oproti aktivní variantě domu je zde opět ztráta a to ve velikosti 19 077 Kč. Tato varianta už dosahuje poměrně slušných hodnot a je tedy spíše doporučena.

**Resumé** pro kombinovaný dům je, že vychází lépe systém Nibe, kdy tato možnost aplikování systému se zateplením je jakási střední cesta, kdy lze dohnat ztrátu oproti pasivnímu domu.

---

<sup>52</sup>7 let bylo zvoleno z důvodů životnosti TČ, „vzpamatování“ investora a lepší době návratnosti.

#### 10.2.4 Výsledné zhodnocení variant

Výsledné zhodnocení bude provedeno formou tabulky, pro lepší přehlednost. Opět v 25-tém roce probíhá reinvestice 100 000 Kč do obnovy systému. Malý index u NPV značí rok hodnocení.

Typ domu	Typ čerpadla	NPV <sub>10</sub>	NPV <sub>15</sub>	NPV <sub>25</sub>	Doporučení
Pasivní dům	WPL 10 AC	-72 499	-30 104	-19 168	NE
	AMS 10-8	-20 893	+20 554	+29 596	Spíše ANO
Aktivní dům	WPL 10 AC	-28 461	+35 919	+90 870	Spíše ANO
	AMS 10-8	+302	+52 347	+82 584	Určitě ANO
Kombinovaný dům	WPL 10 AC	-41 671	+724	+11 662	Spíše NE
	AMS 10-8	-8 176	+33 271	+42 313	ANO

Tabulka 19: Výsledné zhodnocení nasazení čerpadel.

Cílem této práce bylo zhodnotit nasazení kvalitního tepelného čerpadla na pasivní dům. S nejistou životností 15-ti let je výsledné rozhodnutí spíše negativní, kdy se tato investice nevyplatí. Jinými slovy čerpadlo neušetří tolik, aby se aspoň zaplatilo.

Při nasazení na aktivní dům je jisté pozitivní stanovisko u produktu firmy Nibe AMS 10-8, kdy už po 10-tém roce života je čerpadlo v kladných číslech. Pro model firmy Stiebel Eltron WPL 10 AC je tato návratnost datována až k 12-tému roku. Obě tyto varianty jsou spíše doporučeny.

Při kompromisní variantě kombinovaného domu, tedy po 7-mém roce investice do zateplení aktivního domu na parametry pasivního, dojde u modelu WPL 10 AC k negativnímu stanovisku. U modelu firmy Nibe AMS 10-8 je návratnost v 11-tém roce životnosti, tedy tento model je spíše schválen.

Nejlepší variantou je tedy nasazení čerpadla AMS 10-8 na aktivní dům, kdy dojde k návratnosti v 10-tém roce a od té doby systém jde do kladných čísel.

Výsledné vyhodnocení práce ukazuje, že nasazování tepelných čerpadel na pasivní domy je *nevýhodné*. Tento závěr se nezmění do té doby, pokud ceny elektřiny nestoupnou alespoň o 25%, nebo pokud nedojde k poklesu cen tepelných čerpadel. Trendy k tomuto faktu směřují, tudíž z ekonomického hlediska je pro nasazení tepelného čerpadla na pasivní dům vhodné ještě pár let vyčkat, až budou příznivější podmínky...



Obrázek 25: Motivační ekologický spot. [O18]

Všechny závěry vychází z finančního hlediska, a proto je vhodné před finálním rozhodnutím pomyslet na ekologickou výhodnost projektu a tedy i přínos pro životní prostředí.

## Část VI

# Zdroje, přílohy a seznamy

## 11 Literární zdroje

### Použitá literatura

Seznam knižních a internetových zdrojů:

- Zdroj [1] : MICHEJEV, Michail Aleksandrovič. Základy sdílení tepla.  
Praha: Průmyslové vydavatelství, 1952. Knižnice energetického průmyslu.
- Zdroj [2] : KYNCL, Jan. Elektrické teplo - A1M15EST.  
České vysoké učení technické, fakulta elektrotechnická, 2016.  
Dostupné z : [www.powerwiki.cz/wiki/ETT2017](http://www.powerwiki.cz/wiki/ETT2017)
- Zdroj [3] : Veřejná přednáška společnosti FLUKE.  
České vysoké učení technické, fakulta elektrotechnická, 12/2015.
- Zdroj [4] : PROCHÁZKA, Radek. Elektrická pevnost - A1M15TVN.  
České vysoké učení technické, fakulta elektrotechnická, 2015.  
Dostupné z : [www.powerwiki.cz/attach/TVNPodklady/TVN\\_Elektricka\\_Pevnost\\_1\\_2.pdf](http://www.powerwiki.cz/attach/TVNPodklady/TVN_Elektricka_Pevnost_1_2.pdf)
- Zdroj [5] : Online TZB-info.cz.  
Dostupné z : [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz)
- Zdroj [6] : ŠUBRT, Roman a spol. Katalog tepelných vazeb.  
Častolovice: Isover, 2016. ISBN 978-80-260-9519-4.
- Zdroj [7] : Online Schoolworkhelper.net.  
Dostupné z : [www.schoolworkhelper.net/energy-transfer-conduction-convection-radiation](http://www.schoolworkhelper.net/energy-transfer-conduction-convection-radiation)
- Zdroj [8] : JIRKŮ, Slavomír. Termodynamika - A1M15SSE  
České vysoké učení technické, fakulta elektrotechnická, 2015.  
Dostupné z : [watt.feld.cvut.cz/vyuka/SSE/index.htm](http://watt.feld.cvut.cz/vyuka/SSE/index.htm)
- Zdroj [9] : HALLIDAY, David, RESNICK, Robert, WALKER. Fyzika. Přeložil Miroslav ČERNÝ.  
Brno: VUTIUM, c2013. ISBN 978-80-214-4123-1.
- Zdroj [10] : SAAD, Michel A. Thermodynamics for Engineers,  
University of Santa Clara, 1966. ISBN 978-01-391-4911-5.
- Zdroj [11] : REICHL, Jaroslav. Fyzikální encyklopedický Online.  
Dostupné z : <http://fyzika.jreichl.com/>
- Zdroj [12] : Online EnviroExperiment.cz.  
Dostupné z : [www.enviroexperiment.cz/fyzika-stredni-skola/fazovy-diagram-vody](http://www.enviroexperiment.cz/fyzika-stredni-skola/fazovy-diagram-vody)
- Zdroj [13] : Online Převody.cz.  
Dostupné z : [www.prevod.cz/popis.php?str=220&parent=y](http://www.prevod.cz/popis.php?str=220&parent=y)

- Zdroj [14] : Online Český hydrometeorologický ústav.  
Dostupné z : [www.portal.chmi.cz](http://www.portal.chmi.cz)
- Zdroj [15] : BROŽ, Karel. Vytápění.  
Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01313-8.
- Zdroj [16] : Tepelné soustavy v budovách  
Výpočet tepelného výkonu: ČSN EN 12 831.  
Praha: Český normalizační institut, 2005.
- Zdroj [17] : ŠPETLÍK, Jan. Tepelné oběhy - A1M15ENY.  
České vysoké učení technické, fakulta elektrotechnická, 2016.  
Dostupné z : [www.powerwiki.cz/attach/ENY/B1M15ENY\\_PR6\\_2017.pdf](http://www.powerwiki.cz/attach/ENY/B1M15ENY_PR6_2017.pdf)
- Zdroj [18] : Online hyperphysics.edu.  
Dostupné z : [www.hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo](http://www.hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo)
- Zdroj [19] : SPAKOVŠZKY, Zoltán S. Thermodynamics and Propulsion.  
Massachusettský technologický institut (MIT).  
Dostupné z : [www.web.mit.edu/16.unified/www/SPRING/propulsion/notes/node23.html](http://www.web.mit.edu/16.unified/www/SPRING/propulsion/notes/node23.html)
- Zdroj [20] : Piccard, Richard D. Physics 202.  
Ohio university, 2012.  
Dostupné z : [www.ohio.edu/people/piccard/phys202](http://www.ohio.edu/people/piccard/phys202)
- Zdroj [21] : Online Thermodynamics.com.  
Dostupné z : [thermodynamics-engineer.com/429-2/](http://thermodynamics-engineer.com/429-2/)
- Zdroj [22] : Online Regulus.cz.  
Dostupné z : [www.regulus.cz/cz/vymeniky-tepla](http://www.regulus.cz/cz/vymeniky-tepla)
- Zdroj [23] : Online energy.gov.  
Dostupné z : [energy.gov/energysaver/heat-pump-systems](http://energy.gov/energysaver/heat-pump-systems)
- Zdroj [24] : Online otevřená encyklopedie Wikipedia.  
Dostupné z : [en.wikipedia.org/wiki/Direct\\_exchange\\_geothermal\\_heat\\_pump](http://en.wikipedia.org/wiki/Direct_exchange_geothermal_heat_pump)
- Zdroj [25] : Online Tempeco s.r.o.  
Dostupné z : [www.tc-solar.cz/jak-funguje-tepelne-cerpadlo/](http://www.tc-solar.cz/jak-funguje-tepelne-cerpadlo/)
- Zdroj [26] : Online firemní podklady Stiebel Eltron spol s.r.o.  
Dostupné z : [www.tepelna-cerpadla.cz/download/technicke\\_informace\\_tepelna\\_cerpadla.pdf](http://www.tepelna-cerpadla.cz/download/technicke_informace_tepelna_cerpadla.pdf)
- Zdroj [27] : Online ministerstvo životního prostředí.  
Dostupné z : [www.mzp.cz/cz/regulovane\\_latky\\_plyny\\_ozon](http://www.mzp.cz/cz/regulovane_latky_plyny_ozon)
- Zdroj [28] : Online energetická zařízení s.r.o.  
Dostupné z : [www.enza.cz/princip-tepelneho-cerpadla.htm](http://www.enza.cz/princip-tepelneho-cerpadla.htm)
- Zdroj [29] : Online itest.cz.  
Dostupné z : [www.itest.cz/old/solar/stiebel\\_cerpadla.htm](http://www.itest.cz/old/solar/stiebel_cerpadla.htm)
- Zdroj [30] : RIMBALA, Jan. Ekonomické aspekty dimenzování otopného systému RD s TČ.  
Praha: České vysoké učení technické, fakulta elektrotechnická 2015, BP.

- Zdroj [31] : FIALOVÁ, Simona. Optimalizace energií administrativní budovy.  
Praha: České vysoké učení technické, fakulta stavební 2015, DP.
- Zdroj [32] : Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu: ČSN EN 12 831.  
Praha: Český normalizační institut, 2005.
- Zdroj [33] : Směrnice Evropského parlamentu a Rady.  
Ze dne 19. května 2010 o energetické náročnosti budov.  
Dostupné z : [eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:35:CS:PDF](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:35:CS:PDF)
- Zdroj [34] : Energetická náročnost budov  
Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení: ČSN EN ISO 13 790.  
Praha: Český normalizační institut, 2009.
- Zdroj [35] : PROCHÁZKA, Radek. Nejistoty měření - A1M15VNZ.  
České vysoké učení technické, fakulta elektrotechnická, 2014.  
Dostupné z : [www.powerwiki.cz/attach/VNZ/VNZ\\_2-Nejistoty\\_mereni.pdf](http://www.powerwiki.cz/attach/VNZ/VNZ_2-Nejistoty_mereni.pdf)
- Zdroj [36] : ČERNÝ, M. Výuka fyzika, VUTBR FME.  
Dostupné z : <http://physics.fme.vutbr.cz/~mcerny/vyuka/chyby.pdf>
- Zdroj [37] : Online Ekologický institut Veronica.cz.  
Dostupné z : [www.veronica.cz/pasivni-dum-ii](http://www.veronica.cz/pasivni-dum-ii)
- Zdroj [38] : Online Firemní katalog Oknotherm.  
Dostupné z : [www.oknotherm.cz/plastova-okna/](http://www.oknotherm.cz/plastova-okna/)
- Zdroj [39] : Online Srovnávací portál Heureka.cz.  
Dostupné z : [www.heureka.cz](http://www.heureka.cz)
- Zdroj [40] : Online Volné firemní podklady Nibe, divize Energy Systems CZ.  
Dostupné z : [www.nibe.cz/ke-stazeni/category/tepelnc-cerpadlo-nibe-split?download=1541](http://www.nibe.cz/ke-stazeni/category/tepelnc-cerpadlo-nibe-split?download=1541)
- Zdroj [41] : VAŠÍČEK, Jiří. Ekonomika elektroenergetiky - A0M16EKE.  
České vysoké učení technické, fakulta elektrotechnická, 2015.  
Dostupné z : <https://ekonom.feld.cvut.cz/cs/student/predmety/ekonomika-v-elektroenergetice>
- Zdroj [42] : Online Materiály České národní banky.  
Dostupné z : [www.cnb.cz/cs/index.html](http://www.cnb.cz/cs/index.html)
- Zdroj [43] : Online podmínky podpory Nová zelená úsporám.  
Dostupné z : [www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/rodinne-domy/vyzva/podminky](http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/rodinne-domy/vyzva/podminky)
- Zdroj [44] : Online materiály Českého statistického úřadu.  
Dostupné z : [www.czso.cz](http://www.czso.cz)

## Zdroje obrázků

- Zdroj [O1] : Obrázek 1 : Průběh teploty u jednoduché stavební konstrukce  
Dostupné z : [www.powerwiki.cz/attach/OOEET\\_ResenePrikлады/Zed.png](http://www.powerwiki.cz/attach/OOEET_ResenePrikklady/Zed.png)
- Zdroj [O2] : Obrázek 2 : Konvekce, sálaní a vedení tepla  
Dostupné z : [schoolworkhelper.net/wp-content/uploads/2010/08/Convection-Conduction.jpg](http://schoolworkhelper.net/wp-content/uploads/2010/08/Convection-Conduction.jpg)
- Zdroj [O3] : Obrázek 3 : Laminární a turbulentní proudění  
Dostupné z : [player.slideplayer.cz/10/2740074/data/images/img41.jpg](http://player.slideplayer.cz/10/2740074/data/images/img41.jpg)
- Zdroj [O4] : Obrázek 4 : Ukázka různých teplotních stupnic  
Dostupné z : <http://www.prevod.cz/teplomer.gif>
- Zdroj [O5] : Obrázek 5 : Průměrná roční teplota pro rok 2016  
Dostupné z : [portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/images/t16.gif](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/images/t16.gif)
- Zdroj [O6] : Obrázek 6 : Průměrné roční srážky pro rok 2016  
Dostupné z : [portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/images/sra16.gif](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/images/sra16.gif)
- Zdroj [O7] : Obrázek 7 : Carnotův cyklus schematicky  
Dostupné z : [www.ohio.edu/mechanical/thermo/Intro/Chapt.1\\_6/Carnot/engine.gif](http://www.ohio.edu/mechanical/thermo/Intro/Chapt.1_6/Carnot/engine.gif)
- Zdroj [O8] : Obrázek 8 : Carnotův reverzní cyklus v P-V diagramu  
Dostupné z : [thermodynamicsengineering.files.wordpress.com/2013/03/pv-reversed-carnot.png](http://thermodynamicsengineering.files.wordpress.com/2013/03/pv-reversed-carnot.png)
- Zdroj [O9] : Obrázek 9 : Carnotův reverzní cyklus v T-S diagramu  
Dostupné z : [thermodynamicsengineering.files.wordpress.com/2013/03/ts-reversed-carnot.png](http://thermodynamicsengineering.files.wordpress.com/2013/03/ts-reversed-carnot.png)
- Zdroj [O10] : Obrázek 10, 14, 15 : Schémata pro odvození rovnic - A1M15EST, ČVUT FEL.  
Dostupné z : [www.powerwiki.cz/wiki/ETT2017](http://www.powerwiki.cz/wiki/ETT2017)
- Zdroj [O11] : Obrázek 11 : Schéma okruhu tepelného čerpadla  
Dostupné z : [www.tc-solar.cz/obrazky/kompresor.png](http://www.tc-solar.cz/obrazky/kompresor.png)
- Zdroj [O12] : Obrázek 12 : Jednotlivé typy čerpadel  
Dostupné z : [www.etriumf.cz/tiny/image/Typy\\_erpadel.jpg](http://www.etriumf.cz/tiny/image/Typy_erpadel.jpg)
- Zdroj [O13] : Obrázek 16 : Energetická náročnost budovy  
Dostupné z : [files.nemovitosti-katastr-nahlizeni.cz/energetick%ADtek%budovy%20\(PENB\).jpg](http://files.nemovitosti-katastr-nahlizeni.cz/energetick%ADtek%budovy%20(PENB).jpg)
- Zdroj [O14] : Obrázek 17 : Schema struktury obvodové stěny  
Dostupné z : [www.veronica.cz/energie/pasiv/izolace\\_masiv.jpg](http://www.veronica.cz/energie/pasiv/izolace_masiv.jpg)
- Zdroj [O15] : Obrázek 19 : Řez produktem firmy Oknotherm, včetně termovizního snímku  
Dostupné z : [www.oknotherm.cz/web-data/images/produkty/plastova-okna/exclusive\\_komplet.jpg](http://www.oknotherm.cz/web-data/images/produkty/plastova-okna/exclusive_komplet.jpg)
- Zdroj [O16] : Obrázek 20 : Charakteristika COP tepelného čerpadla WPL 10 AC  
Dostupné z : [www.tepelna-cerpadla.cz/download/technicke\\_informace\\_tepelna\\_cerpadla.pdf](http://www.tepelna-cerpadla.cz/download/technicke_informace_tepelna_cerpadla.pdf)
- Zdroj [O17] : Obrázek 21 : Charakteristika COP tepelného čerpadla AMS 10-8  
Dostupné z : [www.nibe.cz/ke-stazeni/category/tepelnc-cerpadlo-nibe-split?download=1541](http://www.nibe.cz/ke-stazeni/category/tepelnc-cerpadlo-nibe-split?download=1541)
- Zdroj [O18] : Obrázek 25 : Motivační ekologický spot.  
Dostupné z : [pbs.twimg.com/profile\\_images/589443436924641281/BKCi1t72.jpg](http://pbs.twimg.com/profile_images/589443436924641281/BKCi1t72.jpg)
- Zdroj [O19] : Obrázek 27 : Určení velikosti zapaštění z pro volbu velikosti korekce - ČSN 12 831  
Dostupné z : normy ČSN 12 831



## Zdroje tabulek

- Zdroj [T1] : Tepelná ochrana budov - část 2 : požadavky: ČSN 73 0540-2.  
Praha: Český normalizační institut, 2007.
- Zdroj [T2] : MICHEJEV, Michail Aleksandrovič. Základy sdílení tepla.  
Praha: Průmyslové vydavatelství, 1952. Knižnice energetického průmyslu.
- Zdroj [T3] : Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu: ČSN EN 12 831.  
Praha: Český normalizační institut, 2005.
- Zdroj [T4] : JIRKŮ, Slavomír. Termodynamika - A1M15SSE  
České vysoké učení technické, fakulta elektrotechnická, 2015.  
Dostupné z : [watt.feld.cvut.cz/vyuka/SSE/index.htm](http://watt.feld.cvut.cz/vyuka/SSE/index.htm)
- Zdroj [T5] : BROŽ, Karel. Vytápění.  
Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01313-8.
- Zdroj [T6] : Online veronica.cz  
Dostupné z : [www.veronica.cz/pasivni-dum-ii](http://www.veronica.cz/pasivni-dum-ii)
- Zdroj [T7] : Firemní Online Oknotherm  
Dostupné z : [www.oknotherm.cz/plastova-okna/veka-softline82plus#xl](http://www.oknotherm.cz/plastova-okna/veka-softline82plus#xl)
- Zdroj [T8] : Online tepelná-technika.cz  
Dostupné z : [www.tepelna-technika.cz/wpl-10-ac](http://www.tepelna-technika.cz/wpl-10-ac)
- Zdroj [T9] : Obchodní oddělení Nibe, divize Energy Systems CZ.  
Dostupné z : [www.nibe.cz/cs/cenik](http://www.nibe.cz/cs/cenik)
- Zdroj [T10] : Online tzb-info.cz  
Dostupné z : [www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii](http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii)
- Zdroj [T12] : Online tepelná-izolace.cz  
Dostupné z : [www.tepelna-izolace.cz/polystyren.html](http://www.tepelna-izolace.cz/polystyren.html)

## 12 Seznamy

### Seznam obrázků

1	Průběh teploty u jednoduché stavební konstrukce, [O1]	15
2	Konvekce, sálání a vedení tepla. [O2]	16
3	Laminární a turbulentní proudění, [O3]	17
4	Ukázka různých teplotních stupnic. [O4]	21
5	Průměrná roční teplota pro rok 2016. [5]	22
6	Průměrné roční srážky pro rok 2016. [O6]	23
7	Carnotův cyklus schematicky, [O7]	26
8	Carnotův reverzní cyklus v P-V diagramu, [O8]	26
9	Carnotův reverzní cyklus v T-S diagramu, [O9]	27
10	Schéma pro odvození rovnic výměníku. [O10]	30
11	Schéma okruhu tepelného čerpadla. [O11]	33
12	Jednotlivé typy čerpadel. [O12]	35
13	Graf spolupráce čerpadla (P1) a elektrokotle (P2).	36
14	Schéma pro odvození rovnic tepelného čerpadla. [O10]	37
15	Schéma otopné strany TČ. [O10]	38
16	Energetická náročnost budovy. [O13]	45
17	Schema struktury obvodové stěny, [O14]	54
18	Orientační náčrt příkladového domu.	55
19	Rez produktem firmy Oknotherm, včetně termovizního snímku. [O15]	56
20	Charakteristika COP tepelného čerpadla WPL 10 AC. [O16]	58
21	Charakteristika COP tepelného čerpadla AMS 10-8. [O17]	59
22	Graf vlivu změn cen elektřiny.	64
23	Graf spolupráce čerpadla (P1) a elektrokotel (P2).	65
24	Graf spolupráce čerpadla (P1) a elektrokotel (P2).	66
25	Motivační ekologický spot. [O18]	68
26	Snímek zadávacího okna části programu v Excelu	IX
27	Určení velikosti zapuštění $z$ pro volbu velikosti korekce. [O19]	XVII

## Seznam tabulek

1	Součinitel prostupu tepla. [T1]	16
2	Rozdělení těles dle vlivu dopadající tepelné energie. [T2]	18
3	Výškový korekční činitel $\varepsilon$ . [T3]	22
4	Korekční činitel zastínění $e$ . [T3]	23
5	Možnosti konstantnosti termodynamický veličin. [T4]	25
6	Produkce tepla průměrného člověka (75kg). [T5]	41
7	Příklady hodnot tepelných mostů. [T3]	44
8	Vnitřní výpočtové teploty pro různé prostory. [T3]	46
9	Vnější výpočtové teploty pro lokality. [T3]	47
10	Přehled vybraných materiálů. [T3]	48
11	Odpor přestupu tepla stěna - vzduch. [T3]	48
12	Přehled požadavků pro pasivní dům. [T6]	54
13	Popis produktu VEKA Softline 82 Plus XL. [T7]	55
14	Popis produktu VEKA Softline 82 MD. [T7]	56
15	Cena systému Stiebel Eltron: WPL 10 AC. [T8]	58
16	Cena systému NIBE: AMS 10-8. [T9]	59
17	Orientační ceny energetických komodit. [T10]	62
18	Přehled chování v jednotlivých obdobích.	63
19	Výsledné zhodnocení nasazení čerpadel.	68
20	Tabulka vybraných symbolů a jednotek	VIII
21	Přehled vybraných materiálů. [T10]	XV
22	Tabulka polystyrénu řady XPS. [T12]	XV
23	Tabulka polystyrénu řady EPS. [T12]	XVI
24	Tabulky pro korekci podlahy. [T3]	XVII
25	Korekce nevytápěných prostorů. [T3]	XVIII
26	Korekce nevytápěných prostorů. [T3]	XVIII
27	Korekce výšky. [T3]	XVIII
28	Korekce stínění. [T3]	XVIII
29	Minimální hygienické požadavky výměny vzduchu. [T3]	XIX
30	Intenzita výměny pro celou budovu dle ČSN 12 831	XIX
31	Tabulka tepelných toků. [T3]	XIX

## Seznam vybraných symbolů

Symbol	[Jednotka]	Popis
$COP$	$[-]$	Topný faktor
$A, W$	$[J]$	Práce
$a, b$	$[m]$	Rozměry základny domu
$C_n$	$[Wm^{-2}K^{-4}]$	Složený součinitel sálání těles
$c$	$[Jkg^{-1}K^{-1}]$	Měrná tepelná kapacita
$d$	$[m]$	Tloušťka
$E$	$[Wm^{-2}]$	Hustota zářivého toku
$E_{A\check{C}T}$	$[Wm^{-2}]$	Hustota zářivého toku AČT
$H$	$[WK^{-1}]$	Součinitel tepelných ztrát
$h$	$[Js]$	Planckova konstanta ( $6,625 \cdot 10^{-34}$ )
$I$	$[J]$	Entalpie
$\dot{m}$	$[kgs^{-1}]$	Hmotnostní průtok
$P$	$[W]$	Výkon
$Q$	$[J]$	Množství tepla
$R_{th}$	$[Km^2W^{-1}]$	Tepelný odpor
$Re$	$[-]$	Reynoldsovo číslo
$r$	$[m]$	Poloměr
$S$	$[m^2]$	Uvažovaná plocha
$s$	$[JK^{-1}]$	Entropie
$T$	$[K]$	Teplota absolutní
$t$	$[s]$	Čas
$U$	$[Wm^{-2}K^{-1}]$	Součinitel prostupu tepla
$u$	$[J]$	Vnitřní energie
$v$	$[ms^{-1}]$	Rychlost
$\alpha, h_k$	$[Wm^{-2}K^{-1}]$	Součinitel přestupu tepla
$\varepsilon$	$[-]$	Emisivita
$\lambda$	$[Wm^{-1}K^{-1}]$	Tepelná vodivost
$\sigma$	$[Wm^{-2}K^{-4}]$	Stefan-Boltzmannova konstanta ( $5,669 \cdot 10^{-8}$ )
$\nu$	$[m^2s]$	Kinematická viskozita
$\rho$	$[kgm^{-3}]$	Hustota media
$\eta$	$[-]$	Účinnost
$\Delta$	$[-]$	Rozdíl veličin
$\phi$	$[W]$	Tepelná ztráta (výkon)

Tabulka 20: Tabulka vybraných symbolů a jednotek

## 13 Příloha A

### 13.1 Vysvětlení zadávání hodnot do programu

Pro správný výpočet je nutno vyplnit následující parametry (pomocí rolovací nabídky):

1. Vybrat strukturu obvodové stěny a doplnit tloušťky  $d$  v milimetrech.
2. Vybrat strukturu podlahy a doplnit tloušťky  $d$  v milimetrech.
3. Vybrat strukturu stropu a doplnit tloušťky  $d$  v milimetrech.
4. Rozměry domu  $a$ ,  $b$ ,  $v$  v metrech a velikost podsklepení  $z$  dle obrázku.
5. Parametry stavebních otvorů - dveří a oken s příslušným počtem.
6. Vybrat druh místnosti pro určení větracích podmínek.

Všechny šedivé okna se nesmí měnit. Při nespokojenosti nabídky materiálu (rolovací), nebo jeho součinitele  $\lambda$ , lze vybrat položku *Vlastní* a požadovaný součinitel doplnit do listu 2 - Materiály.

#### Výběr struktury obvodové stěny

Vrstva	Popis (výběr)	$\lambda$ (W/mK)	$d$ (mm)	$R_{si}$ (m <sup>2</sup> K/W)
Přístup 1	Vodorovný top tok vnější strana	-	-	0.040
1. vrstva	YTONG venkovní omítka	0.80	10	0.013
2. vrstva	POROTHERM 44 SI - P8 super izolační stěna	0.11	180	1.607
3. vrstva	Nevetraná mezera	0.18	5	0.028
4. vrstva	Pěnový polystyren, $\rho = 40$ kg/m <sup>3</sup>	0.04	350	9.459
5. vrstva	YTONG vnitřní omítka	0.80	20	0.025
Přístup 2	Vodorovný top tok vnitřní strana	-	-	0.130

#### Větrací podmínky ( $n_{\text{min}}$ , $n_{\text{ro}}$ )

Druh místnosti	$n_{\text{min}}$
Obytná místnost	0.5

#### Výběr struktury podlahy

Vrstva	Popis (výběr)	$\lambda$ (W/mK)	$d$ (mm)	$R_{si}$ (m <sup>2</sup> K/W)
Přístup 1	Tok směrem dolu na vnitřní straně	-	-	0.170
1. vrstva	Keramická dlažba	1.01	8	0.008
2. vrstva	Cementová malta	1.15	5	0.004
3. vrstva	Pliskový pískobeton, $\rho = 580$ kg/m <sup>3</sup>	0.21	500	2.381
4. vrstva	Zemina	1.50	1000	0.667
Přístup 2	-	-	-	0.000

#### Parametry stavebních otvorů

Okna s trojsklem velmi těsná	počet	šířka	výška	úskok	úskok	$U_{\text{ro}}$
	5	1	1.5	0.8	1	0.8
Okna s dvojsklem středně těsná	3	1.5	1.5	0.5	1.1	1
Okna s dvojsklem středně těsná	0	1.5	1.5	1.5	1.1	1
Okna s dvojsklem středně těsná	0	0.5	1.5	1.5	1.1	1.7
Okna s dvojsklem středně těsná	0	0.5	1.5	1.5	1.1	1.7
Dveře	1	1	1.9	0.4	1.1	0.9

#### Výběr struktury stropu

Vrstva	Popis (výběr)	$\lambda$ (W/mK)	$d$ (mm)	$R_{si}$ (m <sup>2</sup> K/W)
Přístup 1	Tok směrem nahoru na vnitřní straně	-	-	0.100
1. vrstva	YTONG venkovní a vnitřní omítka	0.80	10	0.013
2. vrstva	HELLUZ PLUS 30 broušená	0.13	300	2.400
3. vrstva	Mineralní desky z vlny	0.04	200	4.878
4. vrstva	Desky z dřevitého odpadu, $\rho = 300$ kg/m <sup>3</sup>	0.11	20	0.182
Přístup 2	Vlastní	-	-	0.100

#### Parametry domu

Typ domu	Obdélník (a,b)
Strana a	11
Strana b	9
Výška zdi v	3
Hloubka z	0
Obvod domu	40

Obrázek 26: Snímek zadávacího okna části programu v Excelu

### 13.2 Program Wolfram Mathematica 8

Následují údaje z programu Wolfram Mathematica, který také lze nalézt v elektronické podobě .nb.

## Nastavení importu;

### Data in;

```
SetDirectory[NotebookDirectory[]];  
dataIn = Import["vstupni_data_old.xls"];
```

### Stěna;

```
tloustka = Total[Table[dataIn[[1, i + 4, 5]], {i, 4}]]; (* [m] *)  
odporMatStena = Total[Table[dataIn[[1, i + 4, 6]], {i, 6}]]; (* [m2K/W] *)  
odporPrestupStena = dataIn[[1, 4, 6]] + dataIn[[1, 10, 6]]; (* [m2K/W] *)
```

### Větrání;

```
nMinObyvak = dataIn[[1, 4, 10]]; (* [h-1] *)  
n50 = dataIn[[4, 5, 10]]; (* [h-1] *)
```

### Stavební otvory;

```
sOkna = Total[Table[dataIn[[4, i + 1, 5]], {i, 3}]]; (* [m2] *)  
sRamy = Table[dataIn[[4, i + 1, 7]], {i, 3}]; (* [W/m2K] *)  
sSkla = Table[dataIn[[4, i + 1, 6]], {i, 3}]; (* [W/m2K] *)  
uSkla = Table[dataIn[[4, i + 1, 8]], {i, 3}]; (* [W/m2K] *)  
uRamy = Table[dataIn[[4, i + 1, 9]], {i, 3}]; (* [W/m2K] *)  
  
sRamDvere = dataIn[[4, 6, 7]]; (* [m2] *)  
sSkloDvere = dataIn[[4, 6, 6]]; (* [m2] *)  
uRamDvere = dataIn[[4, 6, 9]]; (* [W/m2K] *)  
uSkloDvere = dataIn[[4, 6, 8]]; (* [W/m2K] *)  
n50Dvere = dataIn[[4, 6, 10]]; (* [h-1] *)
```

### Dům;

```
vyska = dataIn[[5, 2, 2]]; (* [m] *)  
sHruba = dataIn[[5, 2, 3]]; (* [m2] *)  
objem = dataIn[[5, 2, 5]]; (* [m3] *)
```

### Podlaha;

```
sPodlahy = dataIn[[6, 9, 1]]; (* [m2] *)  
odporMatPodlaha = Total[Table[dataIn[[1, i + 14, 6]], {i, 4}]]; (* [m2K/W] *)  
odporPrestupPodlaha = dataIn[[1, 14, 6]] + dataIn[[1, 19, 6]]; (* [m2K/W] *)  
uPodlahou = dataIn[[6, 2, 3]]; (* [W/m2K] *)  
uPodlahaEk = Total[Table[dataIn[[6, i + 3, 4]], {i, 3}]]; (* [W/m2K] *)
```

### Strop;

```
sStrop = sPodlahy; (* [m2] *)  
  
odporMatStrop = Total[Table[dataIn[[1, i + 23, 6]], {i, 4}]]; (* [m2KW-1] *)  
odporPrestupStrop = dataIn[[1, 23, 6]] + dataIn[[1, 28, 6]]; (* [m2KW-1] *)
```

## Načtení teplo;

```
s = 2016;
c = 2017;

Start = {s, 1, 1}; (*zacatek dat*)
Cil = {c, 1, 1}; (*konec dat*)

VenkovniTeplota = WeatherData["Prague", "Temperature", {Start, Cil, "Day"}];

VenTepPrumer = Table[VenkovniTeplota[[i, 2]], {i, 1, Length[VenkovniTeplota]}];
```

## Selekce teplot;

```
hraniceTeplota = 13; (*nastaveni hranice teploty pro vyber topnych dnu*)

dny =  $\frac{\text{Length}[\text{VenkovniTeplota}]}{\text{Cil}[[1]] - \text{Start}[[1]]}$ ; (*celkovy pocet dni vypoctu deleno pocet roku*)

TeplotaPrumerObdobi =  $\frac{\text{Total}[\text{VenTepPrumer}]}{\text{Length}[\text{VenTepPrumer}]}$ ; (*Prumerna teplota*)

TeplotadnyTopne = Select[VenTepPrumer, # < hraniceTeplota &];

ListPlot[{VenTepPrumer}, Filling -> Axis, AxesLabel -> {"Den", "Tout[°C]"}]
```

## Nastavení dat;

### Definované teploty;

```
teplin = 20; (*Vnitřní vypočtová teplota pro prostory A [°C]*)
tepout = -12; (*venkovni navrhová teplota [°C]*)
teplu = 15; (*je-li stanovena teplota nevytápěného prostoru*)
tepjina = 24; (*teplota jinak vytápěného prostoru - typicky koupelna 24*)
tep0 = 0; (*teplota 0°C*)
teprok = 10; (*roční průměrná tep.*)
```

### Korekční činitelé;

```
fk1 = 1.0; (*rozdíl T případu a venk.vyp.*)
ek1 = ek2 = ek3 = 1.0; (*povetnostních vlivu*)

bu = 0.9; (*rozdíl nevytáp. a venk. T*)

fg1 = 1.45; (*korekce vlivu zmen roční venkovni teploty*)
fg2 =  $\frac{\text{teplin} - \text{teprok}}{\text{teplin} - \text{tepout}}$ ; (*rozdíl průměrné roční teploty a vyp.venk.teplotou*)
gw = 1.0; (*vliv spodni vody*)

flj =  $\frac{\text{teplin} - \text{tepjina}}{\text{teplin} - \text{tepout}}$ ; (*sousedni a venkovni teplotou*)

ei = 0; (*cinitel stineni pro infiltraci*)
epi = 1; (*cinitel vysky pro inf*)
```

## Výpočet ztrát budovy;

### Výpočet součinitele tepelných ztrát budovy;

#### Přímo;

$$hTi = (sHruba - sOkna) * \frac{1}{\text{odporMatStena} + \text{odporPrestupStena}} * ek1 +$$
$$\sum_{i=1}^{\text{Count}[uSkla, \_Real]} \{uSkla[[i]] * sSkla[[i]] * ek2 + uRamy[[i]] * sRamy[[i]] * ek2\}[[1]] +$$
$$(sRamDvere * uRamDvere * ek3 + sSkloDvere * uSkloDvere * ek3); (*Přímo ven [W/K]*)$$

#### Nevytápěným;

$$hTu = bu * \frac{1}{\text{odporMatStrop} + \text{odporPrestupStrop}} * sStrop; (*Nevytapenym prostorem [W/K]*)$$

#### Zeminou;

$$hTg = fg1 * fg2 * gw * uPodlahaEk * sPodlahy; (*Pres zeminu [W/K]*)$$

#### Rozdílem;

$$hTj = 0; (*Na rozdílnoú teplotu*)$$

#### Větráním;

$$\text{vinfiltrace} = 2 * \text{objem} * \frac{n50 + n50Dvere}{2} * ei * epi; (*infiltrace [m^3/h]*)$$

$$\text{vhygiena} = nMinObyvak * \text{objem}; (*minimalni hygienicka objemova vymena [m^3/h]*)$$

$$\text{vsteckou} = \text{vinfiltrace} + \text{vhygiena}; (*objemovy tok [m^3/h]*)$$

$$hVi = 0.34 * \text{vsteckou}; (*vetrací [W/K]*) (*dle [16]*)$$

#### Celkové;

$$hV = hTi + hTu + hTg + hTj + hVi; (*Celkové ztráty [W/K]*)$$

$$\text{Pteoreticka} = hV * (\text{teplin} - \text{tepout}); (*Topný výkon dimenzovaci [W]*)$$

$$\text{PtopCelk} = \text{Total}[hV * (\text{teplin} - \text{TeplotadnyTopne})]; (* dle podmínek sezony*)$$

## Model tepelného čerpadla;

### Vstupní data;

$$\text{delT} = 5; (*spád TČ mezi T1 a T2 - do otopného systému*)$$

$$\text{Tzadana} = 45; (*hodnota požadavku výstupu z TČ*)$$

$$\text{hodnoty} = \{T2 \rightarrow \text{Tzadana} - \text{delT}, \text{Tin} \rightarrow \text{teplin}, T1 \rightarrow \text{Tzadana}\}; (*parametry TC*)$$

$$\text{cp} = 4186.; (*konstanta*)$$

### Rovnice známého stavu;

$$\text{rceStav} = \{msTeckou * cp * (T1 - T2) == \text{Pteoreticka},$$

$$\text{Pteoreticka} == \text{konstTopeni} * \left( \frac{(T1 + T2)}{2} - \text{Tin} \right) \} // . \text{hodnoty}; (*rce z kap. 5.6.2*)$$

$$\text{znameHodnoty} = \text{Union}[\text{Solve}[\text{rceStav}][[1]], \{\text{Tin} \rightarrow \text{teplin}\}]; (*msTec, konstTop*)$$



## Rovnice definovaného stavu;

```
Ptop1 = hV * (teplin - tep0); (*Topný výkon při 0°C [W]*)
Ptop2 = hV * (teplin - tepout); (*Topný výkon při -12°C [W]*)
Ptopny[T_] = Fit[{{tepout, Ptop2}, {tep0, Ptop1}}, {1, T}, T];
(*vytvoření matematické funkce dle 2 stavů*)

(*Snižování parametrů*)
kPower = 0.5;

(*načtení dat výrobce*)
{PelTC[Tvzduch_, Tvoda_], PtopTC[Tvzduch_, Tvoda_], COP[Tvzduch_, Tvoda_]} =
{kPower, kPower, 1} * << "TC_data";
```

## Rovnice meze bivalence;

```
rceMezBiv[Tvzduch_] = {msTeckou * cp * (T1 - T2) == Ptopny[Tvzduch],
Ptopny[Tvzduch] == konstTopeni *  $\left(\frac{T1 + T2}{2} - Tin\right)$ ,
COP[Tvzduch, T1] * Pel == Ptopny[Tvzduch], Ptopny[Tvzduch] == PtopTC[Tvzduch, T1]} /.
znameHodnoty; (*rce z kap. 5.6.2*)
pocatek = {{Pel, Pteoreticka}, {T1, Tzadana}, {T2, Tzadana - delT}, {Tvzduch, -5}};
resHranice = FindRoot[rceMezBiv[Tvzduch], pocatek]; (*numerické řešení - Newton*)
TmezBivalence = Tvzduch /. resHranice; (*hodnota meze*)
(*Print["Hranice bivalence je ", TmezBivalence, " °C"]*)
```

## Rovnice samostatného Čerpadla;

```
rceJenTC[Tvzduch_] = {msTeckou * cp * (T1 - T2) == Ptopny[Tvzduch],
Ptopny[Tvzduch] == konstTopeni *  $\left(\frac{T1 + T2}{2} - Tin\right)$ ,
COP[Tvzduch, T1] * Pel == Ptopny[Tvzduch]} /. znameHodnoty; (*rce z kap. 5.6.2*)
resJenTC[Tvzduch_] := Quiet@Union[FindRoot[rceJenTC[Tvzduch],
{{Pel, Pteoreticka}, {T1, Tzadana}, {T2, Tzadana - delT}}, {PtopKotel -> 0}];
(*num. vypocet pro TC, Pkotel=0*)
resJenTC[TmezBivalence]; (*dosazeni do fce*)
```

## Rovnice bivalence;

```
rceBival[Tvzduch_] =
{msTeckou * cp * (T1 - T2) == PtopTC[Tvzduch, T1], PtopTC[Tvzduch, T1] ==
konstTopeni *  $\left(\frac{T1 + T2}{2} - Tin\right)$ , COP[Tvzduch, T1] * Pel == PtopTC[Tvzduch, T1],
PtopKotel + PtopTC[Tvzduch, T1] == Ptopny[Tvzduch]} /.
znameHodnoty; (*rce z kap. 5.6.2*)
resBival[Tvzduch_] := Quiet@FindRoot[rceBival[Tvzduch],
{{Pel, Pteoreticka}, {T1, Tzadana}, {T2, Tzadana - delT}, {PtopKotel, 1000}}];
(*vypocet bivalentního provozu*)
resBival[TmezBivalence]; (*dosazeni do fce*)

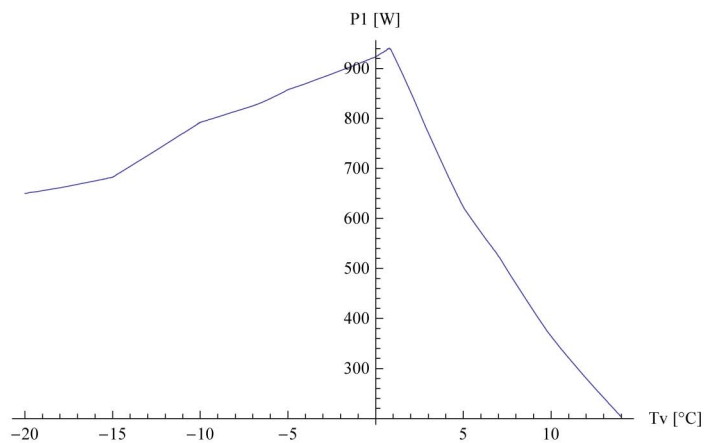
(*Zavedeni funkci s omezenim dle meze bivalence*)
res[Tvzduch_] := Quiet@resJenTC[Tvzduch] /. Tvzduch >= TmezBivalence
res[Tvzduch_] := Quiet@resBival[Tvzduch] /. Tvzduch < TmezBivalence
```

```

(*Aplikace funkce reseni na Pel a PtopKotel*)
Pelektricky[Tvzduch_] := Pel /. res[Tvzduch]; (*pro Výkon TČ*)
Pkotel[Tvzduch_] := PtopKotel /. res[Tvzduch]; (*pro Výkon Kotle*)

(*Namapování rozsahu pro Tvzduch a interpolování*)
dataPel = {#, Pelektricky[#]} & /@Range[-20, 13.8, 0.2]; (*na rozsah -20 az 13,8*)
Pelinter = Quiet@Interpolation[dataPel]; (*interpolace*)
dataPkotel = {#, Pkotel[#]} & /@Range[-20, 13.8, 0.2]; (*na rozsah -20 az 13,8*)
Pkotelinter = Quiet@Interpolation[dataPkotel]; (*interpolace*)
Plot[Pelinter[T], {T, -20, 14}, AxesLabel -> {"Tv [°C]", "P1 [W]"}]
(*Plot[Pkotelinter[T], {T, -20, 14},
  PlotStyle -> {Orange, Dashed, Thick}, AxesLabel -> {"Tv [°C]", "P2 [W]"}] *)
(*dle [30]*)

```



### Výsledná data;

```

spotrebaTC = 24 * 3600 * Total[Pelinter /@ TeplotadnyTopne];
spotrebaKotel = 24 * 3600 * Total[Pkotelinter /@ TeplotadnyTopne];
potrebaTepla = 24 * 3600 * Total[Ptopny /@ TeplotadnyTopne];

prumernyCOP = 
$$\frac{\text{potrebaTepla}}{\text{spotrebaKotel} + \text{spotrebaTC}};$$


```

## 14 Příloha B

### 14.1 Stavební materiály

1. Základní přehled vybraných materiálů.

Označení	$\lambda(Wm^{-1}K^{-1})$
Asfaltová hydro-izolace	0,23
Beton	1,75
Cementová malta	1,15
Cementový potěr	1,23
Dřevo	0,15
Kamenivo, štěrk	0,7
Keramická dlažba	1,01
Lehká cihla	0,8
Lepenka A400H	0,2
Minerální vlna	0,04
Podkladní beton	0,9
Sádra	0,35
Sádro-karton	0,22

Tabulka 21: Přehled vybraných materiálů. [T10]

2. Orientační ceny a možnost „fasádního“ polystyrénu.

(a) XPS

Jedná se o extrudovaný polystyrén (XPS), který je stlačovaný o 10%. Jeho výhodou je malá nasákavost a pevnost.

$d(mm)$	Označení	$\lambda(Wm^{-1}K^{-1})$	$R_{th}(m^2KW^{-1})$	Cena za $m^2$
30	2800 C	0,031	1	od 167
	XPS 300 SF	0,034	0,88	od 150
40	2800 C	0,032	1,25	od 223
	XPS 300 SF	0,034	1,18	od 200
60	2800 C	0,034	1,80	od 335
	XPS 300 SF	0,034	1,76	od 300
80	2800 C	0,035	2,35	od 446
	XPS 300 SF	0,034	2,16	od 400
100	2800 C	0,037	2,80	od 558
	XPS 300 SF	0,034	2,7	od 500

Tabulka 22: Tabulka polystyrénu řady XPS. [T12]

(a) EPS

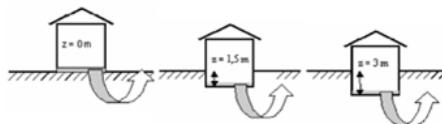
Dnes je expandovaný polystyrén (EPS) využíván pro zateplování např. fasád domů.

$d(mm)$	Označení	$\lambda(Wm^{-1}K^{-1})$	$R_{th}(m^2KW^{-1})$	Cena za $m^2$
20	EPS 70 F	0,039	0,51	od 24
	EPS 100 F	0,036	0,56	od 31
	EPS 150 F	0,035	0,57	od 40
30	EPS 70 F	0,039	0,77	od 48
	EPS 100 F	0,036	0,86	od 47
	EPS 150 F	0,035	0,88	od 60
40	EPS 70 F	0,039	1,03	od 60
	EPS 100 F	0,036	1,11	od 63
	EPS 150 F	0,035	1,14	od 80
50	EPS 70 F	0,039	1,28	od 72
	EPS 100 F	0,036	1,39	od 79
	EPS 150 F	0,035	1,43	od 99
80	EPS 70 F	0,039	2,05	od 84
	EPS 100 F	0,036	2,22	od 126
	EPS 150 F	0,035	2,29	od 159
100	EPS 70 F	0,039	2,56	od 96
	EPS 100 F	0,036	2,78	od 157
	EPS 150 F	0,035	2,86	od 199
120	EPS 70 F	0,039	3,08	od 108
	EPS 100 F	0,036	3,33	od 189
	EPS 150 F	0,035	3,43	od 239
140	EPS 70 F	0,039	3,59	od 168
	EPS 100 F	0,036	3,89	od 220
	EPS 150 F	0,035	4	od 279
160	EPS 70 F	0,039	4,10	od 192
	EPS 100 F	0,036	4,21	od 252
	EPS 150 F	0,035	4,57	od 318
180	EPS 70 F	0,039	4,61	od 216
	EPS 100 F	0,036	4,74	od 283
	EPS 150 F	0,035	5,14	od 358
200	EPS 70 F	0,039	5,12	od 240
	EPS 100 F	0,036	5,26	od 315
	EPS 150 F	0,035	5,71	od 398

Tabulka 23: Tabulka polystyrénu řady EPS. [T12]

## 14.2 Korekční hodnoty a konstanty pro výpočet

1. Korekce podlahy  $U_{x,ek}$  vzhledem k zapuštění dle obrázku.



Obrázek 27: Určení velikosti zapuštění  $z$  pro volbu velikosti korekce. [O19]

$B[-]$	$z[m]$	$U_{EKVIVALENTNÍ}$				
		$U_{PODL} = 3$	$U_{PODL} = 2$	$U_{PODL} = 1$	$U_{PODL} = 0,5$	$U_{PODL} = 0,25$
2	0	1,3	0,77	0,55	0,33	0,17
	1,5	0,86	0,58	0,44	0,28	0,16
	3	0,63	0,46	0,35	0,24	0,14
4	0	0,88	0,59	0,45	0,3	0,17
	1,5	0,64	0,48	0,38	0,26	0,16
	3	0,51	0,4	0,33	0,24	0,14
6	0	0,68	0,48	0,38	0,27	0,17
	1,5	0,52	0,4	0,33	0,25	0,15
	3	0,43	0,35	0,29	0,22	0,14
8	0	0,55	0,41	0,33	0,25	0,16
	1,5	0,44	0,35	0,29	0,23	0,15
	3	0,37	0,31	0,26	0,21	0,14
10	0	0,47	0,36	0,3	0,23	0,15
	1,5	0,38	0,31	0,26	0,21	0,14
	3	0,32	0,27	0,24	0,19	0,13
12	0	0,41	0,32	0,27	0,21	0,14
	1,5	0,34	0,28	0,24	0,19	0,14
	3	0,29	0,25	0,22	0,18	0,13
14	0	0,37	0,29	0,24	0,19	0,14
	1,5	0,3	0,25	0,22	0,18	0,13
	3	0,26	0,23	0,2	0,17	0,12
16	0	0,33	0,26	0,22	0,18	0,13
	1,5	0,28	0,23	0,2	0,17	0,12
	3	0,24	0,21	0,19	0,16	0,12
18	0	0,31	0,24	0,21	0,17	0,12
	1,5	0,31	0,24	0,21	0,17	0,12
	3	0,22	0,2	0,18	0,15	0,11
20	0	0,28	0,22	0,19	0,16	0,12
	1,5	0,22	0,2	0,18	0,15	0,11
	3	0,21	0,18	0,16	0,14	0,11

Tabulka 24: Tabulky pro korekci podlahy. [T3]

2. Korekce nevytápěným prostorem  $b_u$ .

Nevytápěná část	$b_u$
Podzemní podlaží - bez stavebních otvorů	0,5
Podzemní podlaží - se stavebními otvory	0,8
Podkroví - vysoce vzdušné (obyč.)	1,0
Podkroví - tepelně neizolované	0,9
Podkroví- tepelně izolované	0,7
Jedna vnější stěna	0,4
Dvě vnější stěny	0,5
Tři vnější stěny	0,8

Tabulka 25: Korekce nevytápěných prostorů. [T3]

3. Korekce zeminou  $f_{g1}$  a  $G_w$ .

Základní hodnoty pro korekce zeminou jsou v ČR položeny pro  $f_{g1} = 1,45$  a pro  $G_w$  dle tabulky.

Vzdálenost mezi základy a spodní vodou	$G_w$
Větší než 1 metr	1,00
Menší než 1 metr	1,15

Tabulka 26: Korekce nevytápěných prostorů. [T3]

4. Korekce výšky  $\varepsilon$  počítaného prostoru od země.

Výška středu prostoru od země	$\varepsilon$
0 až 10 metrů	1,0
10 až 30 metrů	1,2
Nad 30 metrů	1,5

Tabulka 27: Korekce výšky. [T3]

5. Korekční činitel stínění  $e$ .

Velikost zastínění	$e$		
	Bez nechr. otvor. výplní	1 nechr. otvor. výplň	2+ nechr. otvor. výplní
Žádné - vysoké bud.	0	0,03	0,05
Mírné - předměstí	0	0,02	0,03
Velké - centra měst	0	0,01	0,02

Tabulka 28: Korekce stínění. [T3]

6. Minimální požadovaná výměna vzduchu  $n_{MIN}$ .

Druh prostoru	$n_{MIN}$
Obytné místnosti	$0,5 h^{-1}$
Kanceláře	$1,0 h^{-1}$
Kuchyň a koupelna	$1,5 h^{-1}$
Zasedačky a učebny	$2,0 h^{-1}$

Tabulka 29: Minimální hygienické požadavky výměny vzduchu. [T3]

7. Intenzita výměny vzduchu  $n_{50}$  při rozdílu 50 Pa .

Typ stavby	$n_{50}$		
	Vysoká těsnost	Střední těsnost	Nízká těsnost
Rodinný dům	pod $4 h^{-1}$	4 až $10 h^{-1}$	nad $10 h^{-1}$
Bytové domy a budovy	pod $2 h^{-1}$	2 až $5 h^{-1}$	nad $5 h^{-1}$

Tabulka 30: Intenzita výměny pro celou budovu dle ČSN 12 831

8. Orientační hodnoty tepelných toků.

Typ tepelného toku	$R_{th}(m^2KW^{-1})$
Vodorovný tep.tok vnitřní strana	0,13
Vodorovný tep.tok vnější strana	0,04
Tok směrem nahoru na vnitřní straně	0,1
Tok směrem dolů na vnitřní straně	0,17

Tabulka 31: Tabulka tepelných toků. [T3]