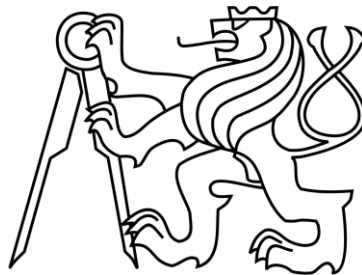


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
FAKULTA STAVEBNÍ  
Katedra technických zařízení budov**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE  
Plně elektrifikovaná administrativní  
budova**

**2018/2019**

**Bc. Marek Urban**

**Vedoucí diplomové práce: Ing. Miroslav Urban, Ph.D.**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Urban Jméno: Marek Osobní číslo: 423755  
Zadávací katedra: Katedra technických zařízení budov  
Studijní program: Budovy a prostředí  
Studijní obor: Budovy a prostředí

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Plně elektrifikovaná administrativní budova  
Název diplomové práce anglicky: Fully electrified office center  
Pokyny pro vypracování:  
Cílem diplomové práce je ekonomicky a ekologicky vyhodnotit energetické systémy plně elektrifikované budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Diplomová práce bude zpracována v rozsahu:  
1. Energetický model budovy  
- kalibrace modelu na základě poskytnutých naměřených dat  
2. Návrh alespoň 3 alternativních variant vytápění včetně stávajícího systému v rozsahu dokumentace pro provedení stavby.  
3. Multikriteriální srovnání řešených variant a vyhodnocení stávajícího systému.  
Seznam doporučené literatury:  
Petráš a kol. - Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie  
Bašta, Kabele - Otopné soustavy teplovodní (sešit projektanta č.1)  
Matuška, T. - Solární zařízení v příkladech  
Tywoniak, J. - Nízkoenergetické domy 2  
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Miroslav Urban, Ph.D.  
Datum zadání diplomové práce: 9.10.2018 Termín odevzdání diplomové práce: 6.1.2019  
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku  
\_\_\_\_\_  
Podpis vedoucího práce Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

9.10.2018

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta(ky)

# SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Marek Urban

Název diplomové práce: Plně elektrifikovaná administrativní budova

Základní část: Rešeršní a projekční část podíl: 100 %

Formulace úkolů: Zpracujte energetický model budovy ve výpočtovém software.

Zpracujte projekt původní varianty vytápění v rozsahu dokumentace pro provedení stavby.

Navrhněte a zpracujte alespoň 3 alternativní varianty vytápění v rozsahu pro provedení stavby.

Proveďte multikriteriální srovnání řešených systémů a vyhodnoďte stávající systém.

Podpis vedoucího DP:..... Datum: 9.10.18

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů: .....

Podpis konzultanta: ..... Datum:.....

3. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů: .....

Podpis konzultanta: ..... Datum:.....

4. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů: .....

Podpis konzultanta: ..... Datum:.....

Poznámka:

Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci. (Vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1.stranou zadání již ve 2.týdnu semestru)

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci „Plně elektrifikovaná administrativní budova“ vypracoval samostatně na základě konzultací s vedoucím diplomové práce, s použitím pramenů a literatury uvedené v seznamu citované literatury.

V Praze dne 06.01.2019

.....  
Marek Urban

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Miroslavu Urbanovi za věcné připomínky, cenné rady a trpělivost při vedení mé diplomové práce.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za podporu při mém studiu.

## **Anotace:**

Diplomová práce se zabývá vyhodnocením plně elektrifikované budovy s hybridní fotovoltaickou elektrárnou. Cílem práce je zejména vytvoření alternativních variant systému vytápění a chlazení a následné porovnání s původním systémem. Pro každou variantu včetně stávajícího systému je vytvořena projektová dokumentace vytápění pro stanovení investičních nákladů. Pro stanovení provozních nákladů navržených variant je vytvořen počítačový model energetického chování budovy, který je zkalibrován na základě naměřených dat z provozu objektu. Na základě počítačového modelu je v práci také uvedeno vhodné nastavení provozu vytápění pro uvažované varianty vzhledem k použitým technickým systémům. Výsledkem práce je multikriteriální srovnání alternativních variant a stávajícího systému včetně jejich vyhodnocení.

## **Klíčová slova:**

vytápění, tepelné čerpadlo, hybridní fotovoltaická elektrárna, multikriteriální srovnání, plně elektrifikovaná budova

**Annotation:**

This diploma thesis deals with evaluation of fully electrified building with hybrid photovoltaic power plant. The aim of the thesis is to create alternative heating and cooling system variants and to compare it with the original system. For each variant including the current system is created project heating documentation to determine investment costs. To determine the operating costs of the proposed variants is created a computer model of the building's energy behavior which is calibrated based on the measured data from the operation of the building. On the basis of the computer model the work also indicates the appropriate setting of the heating operation for the considered variants with respect to the used technical systems. The result of the thesis is a multi-criteria comparison of alternative variants and the current system including their evaluation.

**Key words:**

heating, heat pump, hybrid photovoltaic power plant, multi-criteria comparison, fully electrified building

# Obsah

## Úvod 12

<b>1</b>	<b>Postup práce.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Vstupní dokumenty a data .....</b>	<b>14</b>
2.1	Poskytnuté dokumenty .....	14
2.1.1	Projektová dokumentace architektonicko-stavební části.....	14
2.1.2	Naměřená data mikroklimatických parametrů a dílčích spotřeb energií budovy .....	14
2.2	Dopracované dokumenty.....	15
2.2.1	Projektová dokumentace vzduchotechniky .....	15
2.2.2	Projektová dokumentace chlazení.....	15
<b>3</b>	<b>Popis řešeného objektu .....</b>	<b>15</b>
3.1	Stavební konstrukce.....	15
3.2	Energetické systémy .....	15
3.3	Zhodnocení stávajících systémů techniky prostředí.....	16
3.3.1	Vytápění.....	18
3.3.2	Větrání .....	18
3.3.3	Chlazení.....	19
3.3.4	Příprava teplé vody .....	19
3.3.5	Ostatní zařízení a systémy .....	20
<b>4</b>	<b>Energetický model stávajícího stavu .....</b>	<b>20</b>
4.1	Umístění budovy .....	21
4.2	Modelování geometrie objektu.....	22
4.2.1	Modelování obvodových stěn .....	22
4.2.2	Modelování okenních výplní .....	22
4.3	Infiltrace vzduchu netěsnostmi .....	23
4.4	Nastavení užívání budovy .....	26
4.5	Nastavení technických zařízení .....	26
4.5.1	Příprava teplé vody .....	26
4.5.2	Nastavení technologických a ostatních zařízení .....	26
4.5.3	Osvětlení (umělé osvětlení).....	27
4.5.4	Zásuvkové spotřebiče .....	28



4.5.5	Vzduchotechnika.....	29
4.5.6	Chlazení.....	30
4.5.7	Fotovoltaické panely – výroba elektrické energie .....	31
4.5.8	Vytápění.....	32
4.5.9	Přenastavení chlazení.....	36
4.6	Vyhodnocení kalibrace modelu.....	36
4.7	Rekapitulace nastavených parametrů modelu .....	39
4.7.1	Parametry budovy a systémů .....	39
4.7.2	Časové rozvrhy .....	39
4.8	Využitelnost modelu .....	40
4.8.1	Vliv útlumové teploty na provozní náklady vytápění.....	40
4.8.2	Vliv nastavené doby útlumu na provozní náklady vytápění.....	41
4.9	Celkové spotřeby pro všechny systémy.....	42
<b>5</b>	<b>Návrh alternativních variant systémů vytápění a chlazení .....</b>	<b>42</b>
5.1	Sestavení alternativních variant.....	45
5.1.1	Varianta č.1 – Plynový kondenzační kotel + chlazení vzduchem .....	45
5.1.2	Varianta č.2 – Tepelné čerpadlo vzduch/voda + Multi-split .....	46
5.1.3	Varianta č.3 – Tepelné čerpadlo vzduch/voda s reverzním chodem ...	46
5.2	Srovnání navržených variant s původním řešením .....	47
5.2.1	Původní varianta – elektrické vytápění + Multi-split .....	47
5.2.2	Varianta č.1 – Plynový kondenzační kotel + chlazení vzduchem .....	48
5.2.3	Varianta č.2 – Tepelné čerpadlo vzduch/voda + Multi-split .....	48
5.2.4	Varianta č.3 – Tepelné čerpadlo vzduch/voda s reverzním chodem ...	48
<b>6</b>	<b>Výpočet tepelných ztrát a tepelné zátěže .....</b>	<b>49</b>
<b>7</b>	<b>Původní varianta – Elektrické sálavé vytápění .....</b>	<b>49</b>
7.1	Projektová dokumentace stávajícího stavu.....	49
7.2	Fotovoltaická elektrárna .....	49
7.3	Výkaz výměr pro stávající stav .....	50
<b>8</b>	<b>Varianta č.1 – Plynový kondenzační kotel + chlazení VZT .....</b>	<b>50</b>
8.1	Projektová dokumentace varianty č.1 .....	50
8.2	Návrh zdroje tepla .....	50
8.3	Pokrytí tepelné zátěže chlazeným čerstvým vzduchem .....	51
8.4	Výkaz výměr pro variantu č.1 .....	51

8.5 Účinnost systémů vytápění a chlazení.....	52
8.5.1 Vytápění.....	52
8.5.2 Chlazení.....	53
8.6 Vliv útlumového provozu na roční spotřeby vytápění.....	54
8.7 Spotřeby paliv a energií pro variantu č.1 .....	54
8.7.1 Oběhové čerpadlo.....	54
8.7.2 Celkové spotřeby energií pro všechny systémy.....	55
<b>9 Varianta č.2 – Tepelné čerpadlo vzduch/voda + multi-split .....</b>	<b>55</b>
9.1 Projektová dokumentace varianty č.2 .....	55
9.2 Výběr tepelného čerpadla vzduch/voda .....	55
9.3 Výkaz výměr pro variantu č.2 .....	56
9.4 Účinnost systémů vytápění a chlazení.....	57
9.4.1 Vytápění.....	57
9.4.2 Chlazení.....	58
9.5 Vliv útlumového provozu na roční spotřeby vytápění.....	58
9.6 Spotřeby paliv a energií pro variantu č.2 .....	61
9.6.1 Oběhové čerpadlo.....	61
9.6.2 Celkové spotřeby energií pro všechny systémy.....	62
<b>10 Varianta č.3 – Tepelné čerpadlo s reverzním chodem .....</b>	<b>62</b>
10.1 Projektová dokumentace varianty č.3.....	62
10.2 Výběr tepelného čerpadla vzduch/voda s reverzním chodem.....	62
10.3 Výkaz výměr pro variantu č.3 .....	63
10.4 Účinnost systémů vytápění a chlazení.....	63
10.4.1 Vytápění.....	63
10.4.2 Chlazení.....	64
10.5 Útlumový provoz varianty č.3 .....	65
10.6 Spotřeby paliv a energií pro variantu č.3 .....	66
10.6.1 Oběhové čerpadlo.....	66
10.6.2 Celkové spotřeby energií pro všechny systémy.....	66
<b>11 Srovnání jednotlivých variant z ekonomického hlediska.....</b>	<b>67</b>
11.1 Cena za roční odebrané energie a paliva .....	67
11.2 Náklady na provoz a údržbu.....	68
11.3 Výpočet celkových nákladů pro jednotlivé varianty .....	69
11.4 Metodika výpočtu celkových nákladů dle ČSN EN 15 459.....	69

11.4.1	Výpočet koncové hodnoty obnovovaných prvků .....	69
11.4.2	Výpočet celkových nákladů .....	70
11.5	Srovnání jednotlivých variant podle celkových nákladů .....	70
11.5.1	Výpočet skutečné výše dotace na fotovoltaickou elektrárnu .....	72
<b>12</b>	<b>Srovnání jednotlivých variant z ekologického hlediska.....</b>	<b>75</b>
12.1	Výpočet neobnovitelné primární energie .....	75
12.2	Výpočet znečišťujících látek a emisí oxidu uhličitého .....	76
<b>13</b>	<b>Multikriteriální vyhodnocení navržených variant.....</b>	<b>77</b>
13.1	Vyhodnocení varianty č.1 .....	79
13.2	Vyhodnocení varianty č.2 .....	80
13.3	Vyhodnocení varianty č.3 .....	80
13.4	Vyhodnocení stávajícího systému .....	81
<b>Závěr</b>	.....	<b>83</b>
<b>Seznam použitých zdrojů a literatury</b>	.....	<b>85</b>
<b>Seznam příloh</b>	.....	<b>89</b>

## Úvod

Česká republika se dočkala první výstavby plně elektrifikované administrativní budovy s téměř nulovou spotřebou energie vybavenou fotovoltaickými panely s domovními bateriemi připojených jako aktivní prvek elektrizační soustavy [1]. Jedná se o budovu Office Center Fenix v Jeseníku, která slouží jako nové kancelářské zázemí firmy Fenix Trading a zároveň také jako demonstrační ukázka provozu administrativní budovy čistě na elektrické energii. Z prvního pohledu se tak jedná o velice zajímavé řešení, jenž přináší efektivní využití vyrobené elektrické energie, která může napájet téměř všechna technická zařízení v budově. Ovšem nastává zde otázka, jak je takový systém provozně přijatelný při nepříznivých klimatických podmínkách a v nočních hodinách, kdy je elektřina odebírána z elektrizační soustavy, zejména na provoz vytápění. Zjednodušeně se dá říct, že budova by měla mít v létě velmi nízké provozní náklady na vzduchotechniku a chlazení, a naopak v zimě vysoké náklady na vytápění elektrickou energií. Jestli je takové řešení ekonomicky výhodné je možné zodpovědět pouze na základě multikriteriálního srovnání s alternativními variantami technických zařízení pro tuto budovu.

Právě touto otázkou se bude zabývat tato diplomová práce, jejímž cílem je určit, jestli je výše zmíněná plně elektrifikovaná administrativní budova s podporou fotovoltaické elektrárny ekonomicky srovnatelná se současnými systémy budov. Řešená budova není výjimečná jen svým technickým zařízením, ale i rozsáhlým a velmi podrobným monitorováním technických a mikroklimatických parametrů týkajících se provozu budovy. Jen díky této skutečnosti je možné detailně zhodnotit stávající stav provozu objektu a následně jej porovnávat s dalšími alternativami. Výsledkem této práce budou pro jednotlivé varianty zpracované investiční a provozní náklady a hodnoty neobnovitelné primární energie. Následné srovnání a poté vyhodnocení všech řešených variant přinese závěr o efektivitě a ekonomické rentabilitě stávajícího systému.

Pokud by se tento systém osvědčil, znamenalo by to další posun v oblasti šetření energií a využívání obnovitelných zdrojů.

## 1 Postup práce

Hlavním cílem práce je zejména vyhodnocení efektivity energetického systému administrativní budovy Fenix, tedy plně elektrifikované budovy využívající pro chod technických zařízení pouze elektrickou energii. Výstupem by měl být hlavně závěr o uplatnitelnosti systému jako takového ve srovnání s jinými variantami a případně obecně říci jaká z hodnocených variant se jeví pro řešenou budovu jako nejvhodnější. Dále je velmi důležité zmínit, že diplomová práce nebude vycházet ze skutečného stavu skutečně nainstalovaných zařízení, ale z vlastního návrhu technických zařízení respektující stávající systémy. Znamená to tedy, že budou dodrženy koncepty energetických systémů původního řešení (způsob výroby a emise tepla, větrání a chlazení), ale budou použity zařízení a výrobky dle vlastního návrhu. Tento postup je vynucen zejména tím, že nejsou k dispozici projektové dokumentace techniky prostředí a jsou známy pouze obecné popisy řešení technických zařízení.

Jedním z prvních kroků bude popis stávajícího stavu včetně zhodnocení konceptu stávajícího řešení techniky prostředí. Bude tak možné říci, jaké energetické systémy se mohou ponechat pro všechny varianty neměnné a v práci se jimi dále nezabývat. Dalším a tím nejdůležitějším postupem je vytvoření počítačového simulačního modelu řešené budovy, který bude nastaven tak, aby jeho energetické chování odpovídalo skutečnosti. Díky tomu bude možné v modelu měnit technická zařízení dle navrhovaných variant a zjistit tak spotřeby energií za určitý časový interval jako podklad pro kalkulaci provozních nákladů a zjištění hodnot neobnovitelné primární energie. Poté se vytvoří seznam možných variant energetických systémů a z toho se vyberou 3 nejvhodnější možnosti. Pro tyto systémy včetně toho původního se zpracují projektové dokumentace, ze kterých bude možné určit investiční náklady. Na základě ekonomických a ekologických aspektů s přihlédnutím k dalším kritériím (např. proveditelnost, dosažení požadovaných parametrů apod.) budou řešené systémy mezi sebou porovnány a bude tak možné zhodnotit stávající systém ve vztahu k ostatním variantám.

## **2 Vstupní dokumenty a data**

Jak již bylo zmíněno, tak nejsou k dispozici projektové dokumentace techniky prostředí a ani pasportizace budovy. Z tohoto důvodu byly některé chybějící dokumentace dopracovány v rámci předešlého školního projektu jako podklad pro diplomovou práci. Popis poskytnutých a dopracovaných dokumentů je uveden níže.

### **2.1 Poskytnuté dokumenty**

#### **2.1.1 Projektová dokumentace architektonicko-stavební části**

Mezi základní a nejdůležitější podklad patří projektová dokumentace skutečného provedení stavby architektonicko-stavební části. K dispozici byly předány půdorysy všech podlaží, řezy a skladby stavebních konstrukcí. U skladeb a u oken však nejsou známy tepelně-technické vlastnosti, proto budou uvažovány běžně používané materiály a okenní výplně v souladu s požadavky normy ČSN 73 0540:2, které by měli minimálně odpovídat standardům pro pasivní domy.

#### **2.1.2 Naměřená data mikroklimatických parametrů a dílčích spotřeb energií budovy**

Jelikož byla budova postavena mimo jiné i pro testování provozu administrativní budovy čistě na elektrické energii, tak jsou v budově instalována měřící zařízení, která měří nepřeberné množství parametrů. Níže vypsána data jsou jen ta nejdůležitější, která jsou použitelná pro účely práce:

- Venkovní teplota vzduchu (suchého teploměru)
- Rychlost větru
- Globální solární záření na horizontální plochu
- Provoz osvětlení a zásuvek
- Teploty vzduchu v jednotlivých místnostech
- Koncentrace CO<sub>2</sub>
- Přítomnost osob
- Otevření oken
- Poloha žaluzií
- Dílčí spotřeby energií pro celou budovu
- Celkové spotřeby energií pro celou budovu

Data jsou poskytnutá z roku 2017 a jsou měřená po minutách po celý rok a jen pro představu je počet všech naměřených dat za rok skoro 130 milionů.

## **2.2 Dopracované dokumenty**

### **2.2.1 Projektová dokumentace vzduchotechniky**

Na základě původního konceptu větrání, tedy nucený přívod a odvod vzduchu s centrální vzduchotechnickou jednotkou byla zpracována projektová dokumentace v rozsahu pro provedení stavby. Nejdůležitějšími výstupy této dokumentace jsou návrhové potřeby tepla a chladu pro výměníky vzduchotechnické jednotky, průtoky vzduchu a parametry ventilátorů.

### **2.2.2 Projektová dokumentace chlazení**

Návrh chlazení respektuje též původní koncept, a to chlazení pobytových místností pomocí chladičového systému typu multi-split. Mezi hlavní výstupy z této dokumentace jsou výpočty tepelné zátěže pro pobytové místnosti, potřebný chladičový výkon zdroje chladu a výkaz výměr systému chlazení.

## **3 Popis řešeného objektu**

Administrativní budova Fenix byla dokončena v roce 2016 a ve stejném roce se začala i provozovat. Jedná se o nepodsklepenou budovu obdélníkového tvaru se 3 nadzemními podlažími s plochou střechou. Objekt je situován na zastavěném území s orientací pobytových místností převážně na jih.

### **3.1 Stavební konstrukce**

Nosná konstrukce budovy je monolitický železobetonový skelet s železobetonovými stropy. Tepelně technické vlastnosti obvodových konstrukcí, včetně výplní otvorů, jsou ve standardu odpovídající doporučeným hodnotám součinitelů prostupu tepla uváděných pro pasivní domy, jelikož budova je koncipována jako budova s téměř nulovou spotřebou energie (nZEB).

### **3.2 Energetické systémy**

Všechny energetické systémy (vytápění, chlazení, větrání a ohřev teplé vody) a vnitřní technické vybavení (výtah, počítače, osvětlení, žaluzie) jsou

poháněny pouze elektrickou energií. Elektrická energie je přednostně odebírána z bateriového úložiště, které je dobíjeno z fotovoltaických panelů umístěných na střeše objektu. V případě nedostatku elektrické energie v bateriích a při nepříznivých klimatických podmínkách je energie odebírána z distribuční soustavy. Mohou nastat i situace, kdy je výroba elektrické energie vyšší než spotřeba, potom je energie „prodávána“ do distribuční soustavy. Celkový instalovaný výkon fotovoltaických panelů je 7,2 kWp s bateriovým úložištěm o celkové kapacitě 26 kWh.

Vytápění objektu je elektrickými sálavými panely v obytných místnostech a podlahovými topnými rohožemi na chodbách a hygienickém zázemí. Ohřev teplé vody je řešen decentrálními akumulacími zásobníky s elektrickým ohřevem v místech odběru. Větrání je zajišťováno vzduchotechnickou jednotkou se zpětným získáváním tepla, která dopravuje čerstvý vzduch do prostor kanceláří, šaten a zasedací místnosti a odvádí odpadní vzduch z hygienických zázemí. Pro chlazení kanceláří a zasedací místnosti je nainstalován klimatizační systém typu Multi-split, kde venkovní jednotka je umístěna na střeše objektu a vnitřní jednotky jsou v nástěnném provedení v každé obytné místnosti.

### **3.3 Zhodnocení stávajících systémů techniky prostředí**

Nyní je potřeba se podívat na budovu trochu blíže a zamyslet se nad tím, které systémy by mohli být obměněny a které se mohou ponechat beze změny i pro další alternativní varianty systémů budovy. Zařízení a systémy, které spadají pod působnost jiných oborů (např. výtahy, žaluzie) nebudou v této práci hodnoceny a ani nijak popisovány. V tabulce č.1 jsou uvedeny roční spotřeby elektrické energie za rok 2017 (leden až prosinec) pro všechna zařízení poháněná elektrickou energií včetně jejich procentuálního zastoupení z celkové energetické spotřeby budovy a dále je také uvedena roční výroba fotovoltaické elektrárny. Z uvedených hodnot vyplývá, že je energeticky nejnáročnější provoz vytápění, které představuje téměř polovinu celkové spotřeby. Příprava teplé vody, provoz vzduchotechniky a chlazení mají dohromady desetinovou spotřebu celého objektu a nejedná se tak o provozně nákladné systémy ve vztahu k celkové spotřebě.



Tab. č.1 – Roční spotřeby elektrické energie pro celou budovu za rok 2017

<b>Systém a zařízení</b>	<b>Spotřeba [kWh]</b>	<b>Podíl z celku</b>
Vytápění	11 290	46,5 %
Chlazení multi-split	482	2,0 %
Příprava teplé vody	784	3,2 %
Ventilátory VZT	682	2,8 %
Ohřev vzduchu pro VZT	205	0,9 %
Chlazení vzduchu pro VZT	264	1,1 %
Zásuvky (kancelářské vybavení)	4 617	19,0 %
Osvětlení	1 298	5,3 %
Ostatní (výtah, reklama, žaluzie)	3 947	16,2 %
<b>Celkem roční spotřeba</b>	<b>23 569</b>	<b>100 %</b>
<b>Roční výroba FV elektrárny</b>	<b>7 085</b>	<b>30,0 %</b>
<b>Roční spotřeba na provoz FVE</b>	<b>2 581</b>	<b>11,0 %</b>
<b>Roční nákup elektrické energie</b>	<b>19 065</b>	<b>81,0 %</b>

Tab. č.2 – Roční spotřeby elektrické energie pro letní období a topnou sezónu

<b>Systém a zařízení</b>	<b>Topná sezóna [kWh]</b>	<b>Léto [kWh]</b>
Vytápění	11 290	0
Chlazení multi-split	356	126
Příprava teplé vody	612	172
Ventilátory VZT	187	495
Ohřev vzduchu pro VZT	193	12
Chlazení vzduchu pro VZT	66	198
Zásuvky (kancelářské vybavení)	3 582	1 035
Osvětlení	1 071	227
Ostatní (výtah, reklama, žaluzie)	3 005	942
<b>Celkem spotřeba</b>	<b>20 362</b>	<b>3 207</b>
<b>Výroba FV elektrárny</b>	<b>4 040</b>	<b>3 046</b>
<b>Spotřeba na provoz FVE</b>	<b>1 659</b>	<b>922</b>
<b>Nákup elektrické energie</b>	<b>17 981</b>	<b>1 083</b>
<b>Pokrytí spotřeby FV elektrárnou</b>	<b>11,7 %</b>	<b>66,2 %</b>

Roční výroba fotovoltaické elektrárny, která dokáže vyrobit 30 % z celkové roční spotřeby objektu, je z hlediska celkové bilance energií poměrně slušný výsledek. Bohužel tuto vyrobenou energii nelze zcela využít, jelikož je nutné zohlednit spotřeby energií spojené s provozováním baterií a střídačů. Po odečtení vlastní spotřeby se tak dostává vlastní výroba

elektrické energie na 19 % z celkové spotřeby objektu. Takto výrazné spotřeby jsou způsobeny hlavně ztrátami na střídačích a jejich nepřerušovaným provozem včetně bateriového úložiště. Pro lepší znázornění pokrytí spotřeby objektu fotovoltaickou elektrárnou byla sestavena tabulka č.2, kde jsou uvedeny bilance elektrické energie za otopné období (1.1–31.5 a 1.9–31.12) a za letní období (1.6–31.8). Z těchto dat jednoznačně vyplývají slabiny, ale i silné stránky využívání fotovoltaických panelů k provozování systémů plně elektrifikované budovy. V letním období je budova téměř ze 70 % zásobována vlastní vyrobenou elektrickou energií a tím jsou i provozní náklady velmi nízké. Naopak v topné sezóně vlastní výroba elektrické energie dokáže pokrýt pouze 12 % z celkové spotřeby objektu. Jelikož je topná sezóna energeticky náročnější než letní období, tak stávající systém je poměrně neefektivní a musí tak v hojné míře využívat elektrickou energii z distribuční soustavy.

V následujících kapitolách budou popsány jednotlivé systémy stávajícího řešení včetně uvedení, zdali je možné po odebrání hybridní fotovoltaické elektrárny tyto systémy obměnit.

### **3.3.1 Vytápění**

Provoz vytápění dle tabulky č.1 představuje téměř 50 % celkové spotřeby elektrické energie. Jelikož se v alternativních variantách bude nahrazovat stávající fotovoltaická elektrárna, tak se bude muset změnit i systém vytápění, protože vytápět pouze elektrickou energií bez obnovitelného zdroje energie je z hlediska energetické náročnosti budov ekonomicky a ekologicky velmi nepříznivé. Je to dáno zejména vysokou cenou za elektrickou energii a vysokým konverzním faktorem neobnovitelné primární energie.

### **3.3.2 Větrání**

Jelikož se jedná o administrativní budovu s důrazem na nízkou energetickou náročnost a zároveň je nutné zajistit předepsané výměny vzduchu dle Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. [2], tak není vhodné stávající způsob větrání měnit. Z hlediska provozních nákladů tvoří vzduchotechnika téměř 5 % z celkové roční spotřeby objektu. Provozně je tedy nucené větrání pro řešenou budovu optimální, jelikož je možné garantovat dostatečné provětrání obytných místností, využít odpadní teplo pro předehřev čerstvého

vzduchu a tím snížit energetickou náročnost provozu a zajistit optimální parametry přiváděného vzduchu. U přirozeného (větrání okny) a hybridního větrání (optimální přepínání mezi přirozeným a nuceným větráním) sice dochází k poklesu energií na provoz ventilátorů, ale stoupá spotřeba energií na ohřev a chlazení vzduchu. Bylo by samozřejmě možné tím značně snížit investiční náklady a provozní náklady na dopravu vzduchu, ale z hlediska vyhodnocení stávajícího systému by to nemělo žádný význam. Je to dáno tím, že jakkoliv se změní ostatní systémy, tak systém větrání je na nich nezávislý (vyjma teplovzdušného vytápění a nočního provětrávání). Např. pokud by bylo jednou variantou nahrazení elektrického vytápění za vytápění plynovým kotlem, tak nebude systém větrání ovlivněn, ale bude tvořit stálou konstantu investičních i provozních nákladů jak pro stávající systémy, tak i pro alternativní systémy. Stávající systém větrání bude tedy ponechán kvůli minimalizaci provozních a investičních nákladů na alternativní systémy vytápění a chlazení.

### **3.3.3 Chlazení**

Provoz chlazení je dle tabulky č.1 nepatrným zlomkem (2 %) z celkové spotřeby objektu a není tak zcela zásadní. Z hlediska investičních úspor by mohlo v rámci některých variant dojít ke spojení systémů vytápění a chlazení. Nicméně systémů, které dokážou zajišťovat zároveň vytápění a chlazení je omezené množství, a tak není vyloučeno, že pro některé varianty bude stávající systém chlazení ponechán.

### **3.3.4 Příprava teplé vody**

Decentralizovaná příprava teplé vody (zásobníky s elektrickým ohřevem v místech odběru) pro takto malou administrativní budovu, kde jsou pouze 3 odběrná místa teplé vody (umyvadla na toaletách a v kuchyňce) a celkový stálý počet zaměstnanců je 8, tak je stávající způsob vhodně navržen. Důvodem je, že tento systém nemá cirkulaci teplé vody a tím tedy odpadají náklady na provoz cirkulačního čerpadla a ohřev vychladlé cirkulační vody. Samozřejmě je to vyváženo nepatrnou vyšší investicí než u centrální přípravy a jsou také větší prostorové nároky pro umístění zásobníků, ale z hlediska provozních nákladů je to vhodná varianta. V rámci tedy možných alternativních variant technických zařízení bude zachován stávající koncept.

### **3.3.5 Ostatní zařízení a systémy**

Tyto zařízení a systémy (výťah, osvětlení, kancelářské vybavení) zůstanou ponechány. Nicméně jejich roční spotřeby elektrické energie musí být v závěrečném porovnávání obsaženy u všech variant, jelikož pokud by byly zanedbány, tak by stávající systém přišel o svou největší výhodu a tou je právě výroba elektrické energie.

## **4 Energetický model stávajícího stavu**

Po přezkoumání stávajícího řešení systémů techniky prostředí je na řadě další důležitý krok, kterým je počítačový model reflektující skutečné energetické chování budov. Cílem je vymodelovat budovu přesného geometrického tvaru, s konstrukcemi odpovídající vlastnostem skutečně použitých materiálů, s nastavením technických zařízení odpovídající ročním spotřebám a odpovídajícího nastavení mikroklimatických parametrů pro jednotlivé prostory v objektu. Díky tomu bude možné v modelu měnit pouze parametry technických zařízení dle navržených variant a poté tak elegantně vyčíslit jejich energetické spotřeby. Další nespornou výhodou zkalibrovaného modelu je možnost najít vhodný způsob provozu jednotlivých zařízení techniky prostředí pro alternativní varianty, např. nastavení doby provozu vytápění a hodnot útlumů.

Je nutné začít právě vytvořením modelu, protože jak už bylo zmíněno, tak nejsou známé konkrétní výrobky systémů pro stávající stav. Zkalibrovaný model bude tedy i částečně sloužit pro vytvoření projektové dokumentace původního řešení a na základě nastavených parametrů mohou být i vybrány konkrétní zařízení (např. účinnost fotovoltaických panelů, která je neznámá). Model bude zpracován v počítačovém programu DesignBuilder a detail technických zařízení bude v podrobnosti „Simply HVAC“. Znamená to tedy, že systémy technických zařízení budou zadávány s veškerými účinnostmi, které budou stanoveny na základě tabulkových hodnot. Bylo by samozřejmě možné modelovat technická zařízení s veškerými komponenty v pokročilejších režimech a modelovat tak účinnosti jednotlivých systémů, ale vzhledem k tomu, že řešený objekt má velmi malé spotřeby a samotné systémy jsou malé, tak rozdíly v účinnostech budou minimální. Při kalibraci bude model

sladěn dle skutečných ročních spotřeb za rok 2017. V textu dále bude popsán postup kalibrace včetně popisu nastavování důležitých parametrů.

#### **4.1 Umístění budovy**

Budova se nachází ve městě Jeseník, který není obsažen v základní databázi programu. Nejbližší lokalita je hora Praděd, avšak ta není vhodná pro řešený objekt z důvodu rozdílné nadmořské výšky a tím i jinými klimatickými daty. Jako nejvhodnější lokalita bylo vybráno město Klasko v Polsku, z důvodu že mezi tímto městem a Jeseníkem je poměrně velká rovina a klimatická data by mohla být trochu podobná. Data z polského města budou ale využita pouze jako základ pro vytvoření nové lokality odpovídající pro řešený objekt. Soubor EPW, kde jsou klimatická hodinová data, bylo třeba opravit podle údajů naměřených přímo na řešeném objektu. Údaje, které bylo třeba změnit jsou:

- Teplota venkovního vzduchu (suchého teploměru)
- Globální solární záření na vodorovnou plochu
- Nadmořská výška a zeměpisná šířka
- Nadmořská výška
- Rychlost větru

Poskytnutá naměřená data v minutovém kroku byla zprůměrována do příslušné hodiny a poté vložena do souboru s klimatickými daty. Bohužel někdy chyběla klimatická data z důvodu výpadku měřících zařízení, a tak chybějící data byla lineárně doplněna. Tyto výpadky byly ojedinělé a trvaly maximálně jeden den. Dále jediným potřebným údajem, který bylo potřeba zadat a nebyl měřen na objektu je relativní vlhkost venkovního vzduchu. Z ní se dopočítávají teploty vlhkého teploměru a teploty rosného bodu, a proto bylo využito dat z polského města. Tím ovšem může vzniknout chyba při výpočtu zpětného získávání tepla pro vzduchotechniku, kdy bude teplo získané zkondenzováním vodní páry z odpadního vzduchu jiné než ve skutečnosti, jelikož relativní vlhkost vzduchu v objektu není technicky upravována. Nicméně uvažované nastavení modelu technických zařízení „Simply“ ani nepočítá s kondenzací vodní páry na výměníku zpětného získávání tepla, takže zde nastává mírná odchylka od skutečného chování budovy bez ohledu

na použitá data. Další oblastí, kde by mohla nastat nepřesnost, je u systému chlazení, jelikož kondenzace vodní páry snižuje účinnost chlazení. Tato skutečnost je již však zahrnuta v koeficientu energetické účinnosti chlazení EER, která se nastaví pevnou hodnotou do modelu.

## **4.2 Modelování geometrie objektu**

Základem bylo vytvořit geometrii objektu dle podložené výkresové dokumentace. Budova byla modelována se všemi místnostmi z důvodu rozdílného větrání, osvětlení, vybavení a počtu osob. Dále byly zadány všechny nosné a nenosné konstrukce, skladby střechy a podlah a parametry oken. Okolní objekty a zeleň jsou v dostatečné vzdálenosti od budovy a neměly by tak mít vliv na chování objektu, a proto nebudou modelovány. Postup nestandardních operací při vytváření modelu je popsán níže.

### **4.2.1 Modelování obvodových stěn**

Obvodové stěny jsou velmi různorodé s častou změnou tloušťky a materiálů. Proto pro každou stěnu (dle orientace) byla vypočítaná ekvivalentní tepelná vodivost, hustota a měrná tepelná kapacita. Do programu byly vytvořeny imaginární materiály s ekvivalentními parametry a konstantní tloušťkou, která byla volena podle tloušťky zdiva u oken (pro zachování simulace stínění od ostění). U takto vytvářených imaginárních materiálů byly zkontrolovány součinitele prostupu tepla.

### **4.2.2 Modelování okenních výplní**

Okenní výplně byly modelovány z již předdefinovaných katalogů oken nabízených přímo v programu. Parametry oken nejsou známy, proto bylo zvoleno okno s parametry, které odpovídá doporučeným požadavkům pro pasivní stavby dle ČSN 73 0540:2 [4]. Vybraný profil okna představuje izolační trojsklo se součinitelem prostupu tepla  $U=0,78 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{k})$ , se součinitelem propustnosti slunečního záření  $g=0,6$  a se součinitelem propustnosti světla  $L_T=0,71$ . Rám včetně sloupků byl nastaven dodatečně s respektováním stavebních půdorysů a pohledů. Prostorové umístění oken bylo zadáno dle výkresové dokumentace včetně polohy vůči ostění. Dalším důležitým nastavením je zadání způsobu stínění oken, jelikož výrazně ovlivňuje vnitřní tepelné zisky, ale i propustnost světla. Z naměřených dat polohy žaluzií je možné vyčíst, že v období topné sezóny žaluzie nebyly používány a v letním

období bylo jejich ovládání velmi nepravidelné. Stínění oken bylo tedy zadáno venkovními žaluziemi, jejichž ovládání je na základě potřeby chlazení pro pobytové místnosti. Toto nastavení ovládání zajistí, že po překročení limitní teploty v místnosti, kdy se spouští strojní chlazení, tak se zároveň zatáhnou žaluzie a tím je tak dosaženo snížení energetických spotřeb pro chlazení. Dále je tím také zajištěno, že v zimním období budou žaluzie vytaženy a budou tak maximální zisky ze slunečního záření. Zatažené žaluzie se tak v letních měsících projeví vyšší spotřebou elektrické energie na osvětlení. Přirozené větrání okny se neuvažuje.

### 4.3 Infiltrace vzduchu netěsnostmi

Vzduchotěsnost obálky budovy je momentálně přísně hodnocené a sledované kritérium, jehož dodržením lze efektivně snížit energetickou náročnost budov. Infiltrace vzduchu nastává mezi netěsnými styky jednotlivých konstrukcí nebo okenních či dveřních výplní. Hodnota infiltrace okenní výplně může být stanovena na základě orientačního výpočtového vztahu [3]:

$$V = i \times l \times \Delta p^n \quad (4.1)$$

kde  $V$  – objemový průtok vzduchu [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$i$  – součinitel průvzdušnosti spár [ $\text{m}^3/\text{s}/\text{mPa}^n$ ]

$l$  – délka okenních spár (m)

$\Delta p$  – rozdíl tlaku vyvolaný vlivem teplot a působením větru [Pa]

$n$  – exponent charakterizující proudění vzduchu spárou [–]

$$\Delta p = \Delta p_t + \Delta p_w = H \times g \times (\rho_e - \rho_i) + 0,5 \times w^2 \times \rho_e \quad (4.2)$$

kde  $H$  – převýšení spár oken

$g$  – tíhové zrychlení = 9,81 [ $\text{m}/\text{s}^2$ ]

$\rho_e$  – hustota venkovního vzduchu = 1,2 [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

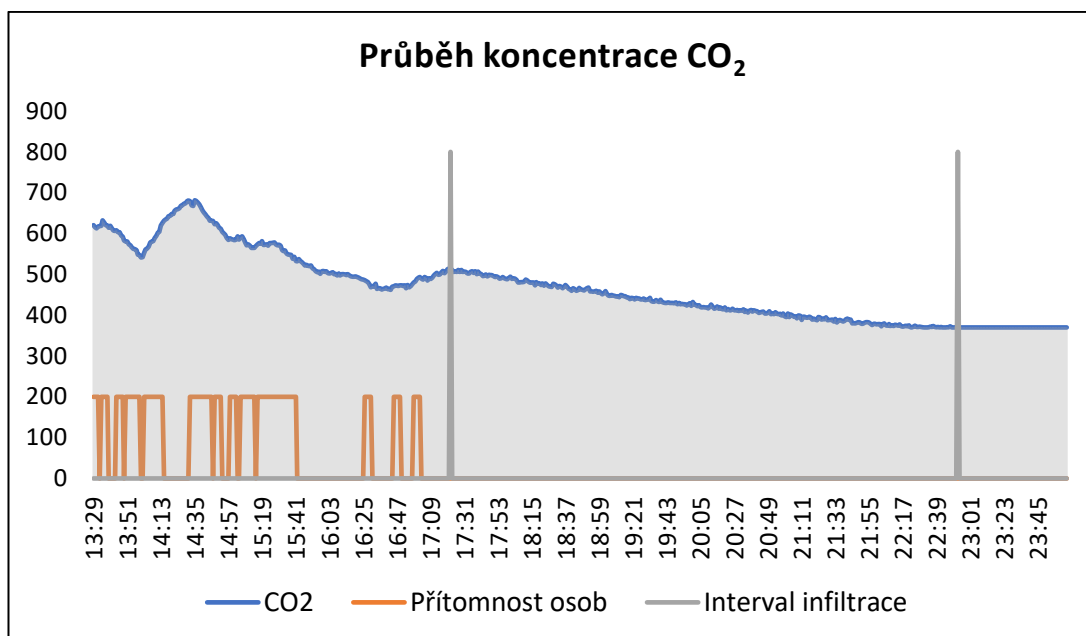
$\rho_i$  – hustota vzduchu uvnitř objektu = 1,14 [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$w$  – rychlost větru v závislosti na výšce a okolních překážkách [m/s]

Pro výpočet hodnoty infiltrace spárami okenními výplněmi byla zvolena kancelář 2.03 ve 2.NP s celkovým objemem místnosti 58  $\text{m}^3$  a dvěma okny. Hodnoty rychlosti větru jsou v případě řešeného objektu přímo měřené a již

tak zohledňují vliv terénu a okolních překážek. Rychlost větru byla tedy uvažována jako průměrná hodnota za topné období hodnotou 1,9 m/s. Podobným způsobem byla stanovena hustota venkovního vzduchu, která byla zjištěna na základě průměrné teploty za otopné období (5 °C). Převýšení spár oken je dle výšky oken 1,5 m s celkovou délkou spár 18,0 m. Exponent vyjadřující vliv spáry byl volen běžně užívanou hodnotou 0,67 dle [3]. Poslední neznámý údaj, součinitel průvzdušnosti spár byl volen hodnotou  $0,1 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{mPa}^n$  odpovídající požadavkům normy ČSN 73 0540:2 [4]. Po dosazení do rovnic (4.2) a (4.1) vychází objemový průtok vzduchu infiltrací 1,4 m<sup>3</sup>/h a dle objemu místnosti je pak intenzita výměny vzduchu spárami okenní výplně 0,024 /h. Uvedený výsledek je nutné však brát s určitým nadhledem, jelikož byly při výpočtu uvažovány průměrné hodnoty venkovní teploty a rychlosti větru a použitý výpočetní vztah poskytuje pouze orientační hodnoty. Pro přesnější stanovení hodnoty infiltrace pro celou místnost je možné vycházet ze změny hodnot koncentrací CO<sub>2</sub>, jenž je způsobena právě infiltrací vzduchu v době, kdy je vypnutý vzduchotechnický systém a místnost je opuštěná, protože nucené větrání je zapnuté pouze v době přítomnosti osob [5]. Hodnoty koncentrací CO<sub>2</sub> jsou kontinuálně měřeny a dále jsou data z přítomnosti osob v místnostech, tak je možné určit za jakou dobu se koncentrace CO<sub>2</sub> vlivem infiltrace vzduchu ustálí na konstantní hodnotu (koncentraci CO<sub>2</sub> venkovního vzduchu) od doby opuštění osob místnosti. Místnost 2.03 použitá pro výpočet infiltrace spárami okenní výplně je nejvhodnější, jelikož má nejmenší objem a díky tomu snáze nastane stav, kdy bude místnost úplně vyvětrána venkovním vzduchem a tím bude dosažena hodnota koncentrace CO<sub>2</sub> venkovního vzduchu. Pro reprezentativní výsledek byl vybrán takový čas konce směny (cca 17:00), kdy byla venkovní teplota rovna průměrné venkovní teplotě za otopné období (5 °C). Na základě zmíněných naměřených dat byl vytvořen graf č.1, kde je možné vidět závislost hodnot koncentrace CO<sub>2</sub> v čase od doby opuštění osob místnosti.





Graf č. 1 – Průběh koncentrace CO<sub>2</sub> pro pracovní den 15.2.2017

Tab. č.3 – Přepočítání infiltrace vzduchu pro jednotlivé místnosti

Místnost	Délka spár l [m]	Objem míst. O [m <sup>3</sup> ]	Množství vzduchu V = l * 0,58 [m <sup>3</sup> /h]	Intenzita výměny n = V / O [1/h]
101	41,8	133,9	24,5	0,18
102	0,0	29,1	0,0	0,0
103	19,2	142,5	11,3	0,08
104	7,8	39,3	4,6	0,11
105	0,0	19,9	0,0	0,0
201	10,4	78,3	6,1	0,08
202	8,2	53,3	4,8	0,09
203	18,0	61,4	10,5	0,17
204	19,2	102,6	11,3	0,11
205	4,2	13,3	2,5	0,18
206	12,6	41,2	7,4	0,18
301	12,5	47,0	7,3	0,15
302	8,2	53,3	4,8	0,09
303	40,2	132,9	23,6	0,18
<b>CELKEM PRO CELÝ OBJEKT</b>				<b>0,11</b>

V případě stanovení výměny vzduchu infiltrací ostatních místností bude využito dalšího zjednodušení, a to stanovení infiltrace vzduchu na 1 m spáry okna z místnosti 2.03. Touto hodnotou (0,58 m<sup>3</sup>/h) pak bude vynásobena

délka spár oken v jednotlivých místnostech a následně vydělena objemem dané místnosti a tím bude získána přepočtená hodnota infiltrace pro každou místnost. Z vypočtených hodnot se následně provede aritmetický průměr hodnoty infiltrace, která se následně nastaví pro celý objekt. Výpočty včetně mezivýsledků jsou uvedeny v tabulce č. 3.

#### **4.4 Nastavení užívání budovy**

Počet osob byl nastaven dle vybavení pobytových místností, celkově je tedy v objektu uvažováno s 8 osobami, které byly rozmístěny do místností s pracovními stoly. Zasedací místnost je dle dat téměř nevyužívána. Pracovní doba se dle naměřených dat přítomnosti osob pohybovala od 06:30 do 17:00 a stejné rozmezí bylo použito i v modelu s tím, že byly zohledněny různé časy příchodů a odchodů, tedy pro začátek směny 06:30–08:00 a pro konec směny 16:00–17:00 byla nastavena poloviční obsazenost. Svátky byly zadány v souladu s rokem 2017 pro Českou republiku.

#### **4.5 Nastavení technických zařízení**

##### **4.5.1 Příprava teplé vody**

Decentrální zásobníkové ohřivače v místech odběru budou modelovány pouze nastavením příslušné denní spotřeby teplé vody. Při uvažování výstupní teploty z ohřivače hodnotou 55 °C, vstupní teploty studené vody 10 °C, ztrát při distribuci 0 % (není cirkulace teplé vody) a roční spotřeby elektrické energie 784 kWh, tak průměrná denní spotřeba teplé vody v pracovních dnech vychází pro celý objekt 60 litrů (ročně 15 000 litrů). Tato hodnota byla rovnoměrně rozdělena do místností s umyvadly dle jejich podlahové plochy. Ohřev teplé vody bude nastaven boilerem na elektrickou energii s topným faktorem 1,0 bez ztrát při výrobě a distribuci tepla (ty jsou již zahrnuty v celkové spotřebě). Provozní režimy přípravy teplé vody jako např. termická desinfekce budou zanedbány a předpokládá se, že jsou již zahrnuty v celkové spotřebě. Vstupní a výstupní teplota vody z bojleru bude nastavena dle výše uvedených hodnot, z čehož vyplývá, že spotřeby v modelu by měly být stejné jako ve skutečnosti.

##### **4.5.2 Nastavení technologických a ostatních zařízení**

Jedná se zejména o výtahy, elektrické vytápění venkovní plochy, ovládání žaluzií, reklamní banner na fasádě objektu apod. Tyto zařízení mají

jednu společnou vlastnost, a to že svou spotřebou elektrické energie téměř neovlivňují ostatní systémy přímo v budově. Např. výtah je velmi málo užíván a jeho provoz tudíž minimálně produkuje teplo, které by tak mohlo ovlivnit např. systém chlazení. Proto tyto zařízení nebudou modelovány, ale jejich energetické spotřeby dle reálného stavu budou zahrnuty do závěrečných kalkulací provozních nákladů. Jedinou výjimkou je však vybavení v technické místnosti (servery a baterie), které mají poměrně značné produkce tepla, ale vzhledem k faktu, že je tato místnost nevytápěná a ani není chlazená, tak nebudou její zařízení modelovány.

#### **4.5.3 Osvětlení (umělé osvětlení)**

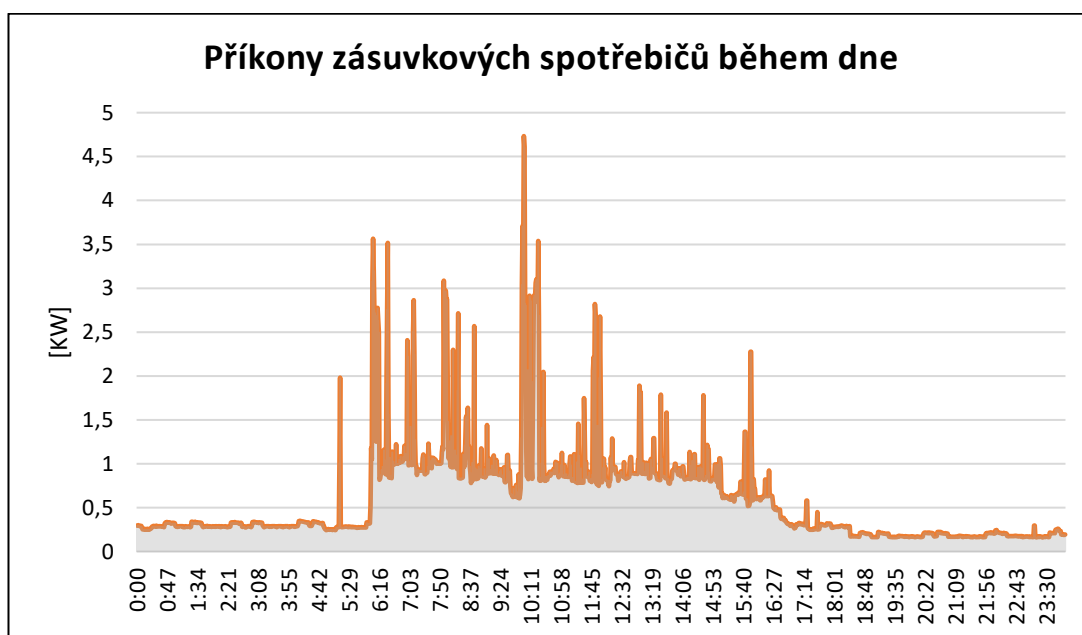
Osvětlení už představuje poměrně složitější problém kalibrace. Velmi totiž záleží na nastavení stínění okenních výplní a také na užívání ze strany uživatelů. Pro nastavení provozu osvětlení byl použit rozvrh přítomnosti osob v kap. 4.4., avšak nebylo uvažováno s redukcí podle různých příchodů zaměstnanců. Intenzita osvětlení byla zadána pro pobytové místnosti 500 lx dle požadavků normy ČSN 12 461-1 [6]. Vstupní hala, kde jsou mimo jiné výstavní panely se sortimentem firmy, byla nastavena hodnotou osvětlenosti 200 lx. V ostatních místnostech (WC, chodby) byl zaveden zjednodušující předpoklad, a to, že se v nich nebude svítit vzhledem k nízkému užívání v průběhu dne. Samotná svítidla byla zvolena pro montáž přímo na povrch stropní konstrukce a jejich ovládání je uvažováno typem „Stepped“ s počtem kroků 2. Uvedené nastavení by mělo reflektovat skutečnost, že uživatelé si zapínají světla systémem zapnuto/vypnuto a počet kroků představuje, že se nejdříve zapne polovina svítidel a v druhém kroku se zapne zbylá část. Tím je tak možné alespoň částečně regulovat osvětlení v místnosti ze strany uživatelů. Posledním nejdůležitějším parametrem je měrný výkon osvětlení. V databázi programu je možné nalézt měrný výkon osvětlení odpovídající běžným kancelářím v hodnotě 12 W/m<sup>2</sup> pro zářivková svítidla. Ovšem při přepočtení zmíněných hodnot na požadované jednotky zadávané do programu (2,4 W/m<sup>2</sup>-100 lx), tak spotřeba elektrické energie vychází téměř o 40 % větší než dle reálných spotřeb. Tak významný rozdíl může být způsoben např. špatně nastaveným součinitelem propustnosti světla oken, nastavením energeticky náročnějších svítidel než dle stávajícího stavu,

nestandardním a nedostatečným užíváním svítidel ze strany uživatelů (šetření) nebo používáním lampiček, které jsou započteny do zásuvkové spotřeby. Proto pro získání potřebné hodnoty spotřeby elektrické energie byl nastaven měrný výkon osvětlení na hodnotu  $9,0 \text{ W/m}^2$ , která již odpovídá skutečným spotřebám. Je nutné mít na paměti, že osvětlení významně ovlivňuje spotřeby na vytápění a chlazení, ale je samo o sobě na nich nezávislé, proto bude nastaveno touto pevnou hodnotou pro zdárnější kalibraci dalších systémů. Uvedené nastavení nemá vliv na komfort osob, jelikož model sám zapíná světla na základě venkovní osvětlenosti tak, aby splnil požadované hodnoty osvětlenosti zadané v modelu.

#### **4.5.4 Zásuvkové spotřebiče**

Stejně jako u osvětlení je provoz zásuvkových spotřebičů důležitý pro stanovení spotřeb energií pro vytápění a chlazení. Jedná se zejména o větší spotřebiče typu tiskárna a počítač, které svým provozem produkují teplo. Základním předpokladem je, že veškeré zásuvkové spotřebiče jsou v kancelářích. Proto pro správné modelování těchto zařízení je nejdříve nutné stanovit možné vybavení jednotlivých kanceláří, poté jejich výkony a doby provozu. Prakticky jednoznačným kancelářským vybavením je počítač s monitorem, jejichž celkové výkony jsou při normálním využívání  $50 \text{ W}$  a v úsporném režimu  $10 \text{ W}$ , což jsou hodnoty pro dnešní průměrné sestavy vhodných do kanceláří. Počítače byly nastaveny plným výkonem v pracovní době a v ostatních hodinách 17:00–06:30 pro pracovní dny byla použita hodnota v úsporném režimu. O víkendech a svátcích se předpokládá, že počítače budou vypnuté. Pro stanovení ostatního vybavení bude využito naměřených dat odebraných příkonů pro zásuvky, které jsou zobrazeny v grafu č.2. Z tohoto grafu je možné stanovit průměrný denní příkon v pracovní době pro celou budovu, který vychází zhruba  $1\,010 \text{ W}$  a pro ostatní hodiny  $300 \text{ W}$ . Pokud se od těchto hodnot (je uvažována 100 % účinnost) odečtou výkony za počítače pro 8 osob ( $8 \times 50 = 400 \text{ W}$  a  $8 \times 10 = 80 \text{ W}$ ), tak se získá chybějící celkový výkon nespécifikovaných spotřebičů, který činí  $610 \text{ W}$  v pracovní době a  $220 \text{ W}$  v ostatních hodinách. Z těchto hodnot je možné stanovit hodnotu útlumu pro úsporný režim mimo pracovní dobu, která činí cca 35 %. Při nastavení pracovní doby bude využití těchto neznámých spotřebičů v plném

výkonu a mimo pracovní dobu se použije vypočtená hodnota úsporného režimu. Poslední neznámou je měrný výkon spotřebičů na podlahovou plochu kanceláří, který bude nastaven tak, aby korespondoval se skutečnými spotřebami. Pro získání potřebné hodnoty 4 617 kWh bylo třeba nastavit výkon neznámých spotřebičů 870 W (7,3 W/m<sup>2</sup>). Tato hodnota výkonu je paradoxně větší než hodnota příkonu dle skutečného provozu, což by mohlo být způsobeno nastavením výkonu průměrnou hodnotou. Ve skutečnosti je však při zapnutí spotřebiče potřebný příkon mnohem větší než jeho průměrná spotřeba. Tyto odběrové špičky je možné pozorovat na grafu č.2, kde tyto hodnoty dosahují až 4,5 kW a tím tedy vzrůstají i výkony. V modelu se však uvažuje pouze konstantní hodnota, která má stále stejný průběh odběru elektrické energie. Z tohoto důvodu je nutné nastavit vyšší hodnotu výkonu, aby byly kompenzovány odběrové špičky při náběhu spotřebiče.



Graf č.2 – Průběh příkonů pro elektrické spotřebiče pro celý den 15.2.2017

#### 4.5.5 Vzduchotechnika

Provoz vzduchotechniky je uvažován dle přítomnosti osob, tedy pouze v pracovních hodinách. Přívod vzduchu byl nastaven do pobytových místností a vstupní haly dle projektové dokumentace vzduchotechniky. Odvod vzduchu v použitém nastavení větrání „Ideal Loads“ nelze nastavit, jelikož model uvažuje odvod vzduchu z míst, kam vzduch přivádí. Avšak velkou výhodou tohoto nastavení je možnost definovat účinnost zpětného získávání tepla. Ta

se v modelu zadává pevnou hodnotou, ale v průběhu celého otopného období je proměnlivá v závislosti na teplotě venkovního vzduchu. Jelikož se jedná o rekuperační výměník, teploty přiváděného a odváděného vzduchu jsou stejné a objemový průtok je při rovnotlakém větrání konstantní, tak je účinnost zpětného získávání tepla lineárně závislá na teplotě venkovního vzduchu. Proto bude vhodné opět použít průměrnou teplotu za otopné období (5,0 °C) a z ní stanovit průměrnou účinnost zpětného získávání tepla. Pro zjištění neznámé účinnosti bude využit návrhový program firmy Atrea s.r.o., ve kterém byla navržena vzduchotechnická jednotka a je zde možné dopočítat účinnost rekuperace. Pro teplotu přiváděného a odváděného vzduchu 20 °C a objemový průtok 790 m<sup>3</sup>/h vychází průměrná účinnost zpětného získávání tepla pro protiproudý deskový výměník 84,5 %.

Dalším problémem nastavení „Ideal Loads“ je nemožnost modelovat ventilátory vzduchotechnické jednotky a tím tak stanovit spotřebu na provoz ventilátorů a také simulovat jejich teplo odevzdané do vzduchu při provozu. V programu sice existuje nastavení „Room ventilation“, tedy možnost modelovat energetické chování ventilátorů, ale už nejde nastavit rekuperace tepla a tím by tedy nebylo možné zkalibrovat systém vytápění. Proto spotřeba elektrické energie pro ventilátory nebude modelována, ale bude převzata dle skutečných spotřeb pro závěrečné kalkulace. Produkce tepla od ventilátorů je již zahrnuta ve spotřebě elektrické energie na ohřev a chlazení vzduchu, proto se tyto hodnoty opět použijí dle skutečného stavu pro závěrečné kalkulace a v modelu se tato skutečnost projeví tak, že systémy vytápění a chlazení budou o tyto hodnoty zvýšeny, jelikož tepelné zisky a zátěže od větracího vzduchu hradí plně systémy větrání a chlazení přímo v místnostech. Pro závěrečné kalkulace bude tedy nutné tyto hodnoty odečíst.

#### **4.5.6 Chlazení**

Chlazení bylo nastaveno pouze v pobytových místnostech. Jelikož je k dispozici projektová dokumentace chlazení, tak byl zadán chladicí faktor hodnotou 3,5, která byla uvedena v katalogovém listu chladicí jednotky. Chlazení v místnostech bylo nastaveno na teplotu 24 °C, která je limitní pro spouštění chlazení. Stínění je dle kap. 4.2.2. ovládáno na základě chlazení, tedy pokud je zapnuto chlazení, tak se zatáhnou i žaluzie. Teď však nastává

poměrně zásadní problém, a tím je zejména určení doby, kdy bude zapnuto chlazení v průběhu pracovního směny. Z naměřených dat není prakticky možné určit nějaký průměrný interval provozu chlazení, jelikož je ovládáno pouze ze strany uživatelů. Interval provozu chlazení bude tedy stanoven na základě jednoduché úvahy. Jelikož jsou všechna okna chlazených místností orientovaná na jih a největší intenzity solárního záření nastávají mezi 11:00 – 14:00 hodinou a při uvažování akumulace tepla do stavebních konstrukcí by vhodný interval pro chlazení mohl začít cca od 11:30. V této době je ale většinou čas na oběd, takže je předpokladem, že osoby půjdou na jídlo mimo objekt a chlazení zapnou až po příchodu. Proto začátek provozu chlazení byl nastaven na čas 12:00. Pro celkovou spotřebu na chlazení byl tak stanoven interval provozu na 12:00 – 15:30. Takové nastavení je nutné brát s velkým nadhledem, protože vůbec nerespektuje proměnlivé chování venkovních klimatických podmínek a už vůbec neodpovídá skutečnému provozu chlazení, jelikož v tomto intervalu je zahrnuta i spotřeba energie na chlazení větracího vzduchu, který je chlazen po celou pracovní dobu. V případě chlazení by to ale neměl být tak velký problém, jelikož pro chlazení místností a větracího vzduchu budou v případě alternativních variant použita zařízení s kompresorovým okruhem, která pravděpodobně budou mít podobný chladicí faktor. Nicméně hlavní rozdíl bude v tepelném komfortu osob v průběhu letního dne, jelikož stávající systém chlazení je užíván podle aktuální potřeby uživatelů, kdežto v modelu je určen přesný čas kdy se chladí a v ostatních hodinách tak není zajištěna dodávka chladu. Pro účely práce je však takové nastavení dostačující.

#### **4.5.7 Fotovoltaické panely – výroba elektrické energie**

V tomto případě nachází použití počítačové simulace energetického chování budovy praktické využití, jelikož není znám počet a ani vlastnosti instalovaných fotovoltaických panelů na střeše objektu, tak je možné zjistit tyto neznámé vymodelováním určitého počtu panelů včetně zadání jejich účinnosti. Metodou „pokus-omyl“ tak bude nalezen vyhovující počet panelů se zvolenou účinností, která bude odpovídat skutečné roční produkci elektrické energie fotovoltaických panelů.

Na střechu objektu tak byly rozloženy panely velikosti 1650x992 mm s maximálně možnými rozestupy mezi jednotlivými řadami panelů. Velikost byla předběžně určena z katalogového listu firmy Trinasolar [7]. Pro celkovou roční výrobu 7 085 kWh bylo potřeba umístit celkem 31 panelů s nominální účinností 16,0 %. Celková plocha a účinnost panelů budou použity při výběru odpovídajících fotovoltaických panelů, které budou poté sloužit jako podklad pro stanovení investičních nákladů pro původní variantu.

#### **4.5.8 Vytápění**

Objekt se bude vytápět nepřerušovaně po celou topnou sezónu, pouze mimo pracovní hodiny se nastaví útlumový provoz, který byl zadán od 17:00-03:00 pro pracovní dny a 0:00-24:00 pro víkendy a svátky. V období topné sezóny je průměrná teplota vzduchu v objektu v pracovních hodinách dle naměřených dat 20,5 °C a teplota v útlumu 20 °C pro všechny ostatní hodiny a dny (svátky, víkendy). Jelikož je v objektu nucené větrání, kde je řešen přívod vzduchu do obytných místností a odvod vzduchu z hygienického zázemí, tak lze předpokládat, že teplota vzduchu bude v celém objektu stejná. Vytápění je elektrickými sálavými panely, takže zdrojem tepla byla nastavena elektrická energie s topným faktorem hodnotou 0,96 dle ČSN 73 0331-1 [8]. Jelikož jsou systémy modelovány v režimu „Simply HVAC“, tak není možné definovat ztráty distribucí a emisí tepla a musí se zohlednit v topném faktoru [9]. Uvedená hodnota topného faktoru 0,96 představuje 4 % ztrátu, která vzniká na zadní straně sálavého panelu přimontovanému ke stropní konstrukci [10]. Pokud tedy do sálavého panelu přichází 1 kW elektrické energie, tak bude přeměněna na 1 kW tepla, ale pouze 96 % z tohoto tepla bude využitelné pro vytápění. V programu tedy topný faktor bude představovat účinnost systému vytápění. Dalším problémem je nemožnost modelovat sálavé vytápění v kombinaci s chlazením a zpětným získáváním tepla ze vzduchotechniky při užití „Simply HVAC“. Jediná možnost je použití elektrických konvektorů s vědomím, že hodnoty vytápění nemusí odpovídat skutečnému chování. Jako poslední byla zadána regulace teploty podle operativní teploty (teplota zohledňující kromě teploty vzduchu i radiační teploty okolních povrchů), jelikož je tak možné simulovat veškeré teplotní účinky působící na uživatele a tím tak zohlednit zásah uživatelů na systém vytápění za účelem dosažení jejich



tepelného komfortu. Uživatel tedy funguje s nadsázkou jako kulový teploměr (snímač teploty vzduchu a střední radiační teploty) a reguluje si systém vytápění dle potřeby na jeho tepelný komfort, a proto bude nastavena regulace podle operativní teploty. Nevýhodou tohoto nastavení je, že tento způsob regulace bude nastaven i pro ostatní místnosti např. WC, kde uživatelé netráví čas a teplota se zde reguluje pouze prostorovým termostatem, tedy podle teploty vzduchu. Pro modelování budov by tedy obytné a bytové místnosti měli mít nastavení regulace podle operativní teploty a ostatní místnosti podle teploty vzduchu, bohužel však použitý program takové nastavení neumožňuje. Proto byla stanovena z naměřených dat průměrná teplota vzduchu v objektu v pracovní směně (20,5 °C) a tím lze předpokládat, že tato teplota by byla pro uživatele v rámci celého objektu komfortní.

Po zadání výše uvedených parametrů vychází spotřeba na vytápění 7 556 kWh, tedy 66 % z cílové spotřeby elektrické energie na vytápění, což je poměrně výrazný rozdíl a pro účely práce je to nedostačující výsledek. Uvedená nepřesnost by měla být v nastavení vytápění, jelikož je tento systém prakticky závislý na provozu všech ostatních systémů, jenž jsou nastaveny tak, aby odpovídaly skutečným spotřebám a vycházely z reálného provozu. Po zadání všech vstupních hodnot zjistitelných z naměřených dat a projektových dokumentací se tedy nepodařilo model zkalibrovat.

Pro odpovídající nastavení modelu budou muset být přenastaveny některé parametry stavebních konstrukcí nebo systému vytápění. Jelikož je rozdíl mezi modelem a skutečností 35 %, tak by neměl být problém způsoben špatně nastavenými stavebními konstrukcemi nebo špatně zadanými okny. Problémem by nemělo být ani nastavení harmonogramů vytápění nebo použitého topného faktoru. Použitý systém vytápění konvektory by se též neměl o tolik lišit od sálavých panelů, jelikož hlavní rozdíl je v rychlosti náběhu požadovaných teplot a způsobu distribuci tepla.

Jelikož se nepodařilo nalézt problém, který způsobuje rozdíl mezi skutečností a modelem, tak bude nutné přenastavit některé parametry modelu budovy, které budou odpovídat skutečné spotřebě, ale už nebudou odpovídat skutečným parametrům. Jako nejvhodnější byla vybrána infiltrace vzduchu, jelikož její vliv je zejména jen na vytápění a chlazení a tím jsou ostatní systémy

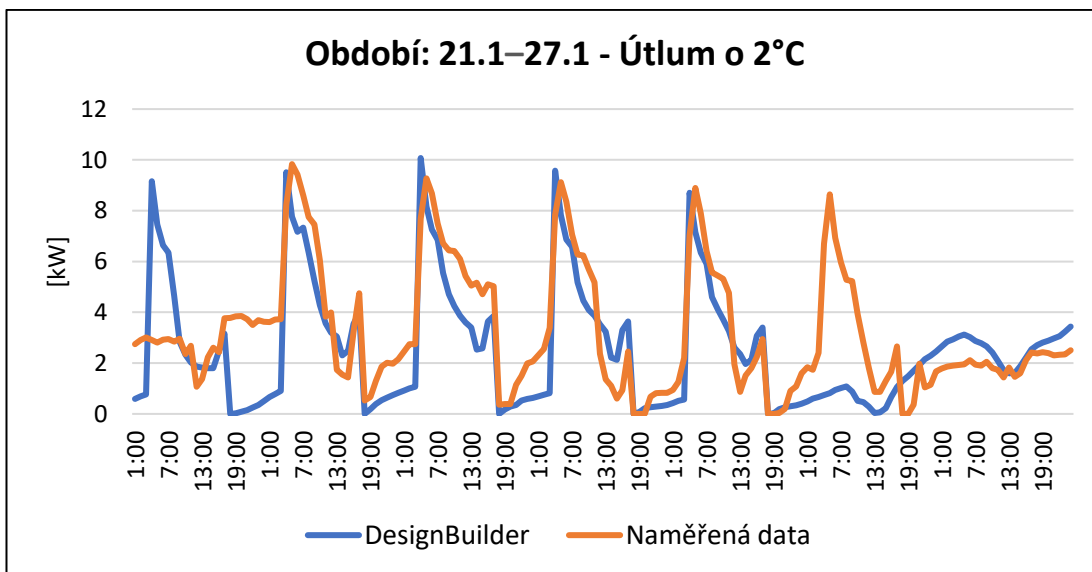
nedotčeny. Hodnoty infiltrace, která byla stanovena dle kap. 4.3. hodnotou 0,11 1/h, byla nově nastavena na 0,25 1/h, jenž bude mít velký vliv na výměny vzduchu a tím tak na úniky tepla. Uvedená hodnota infiltrace sice poskytuje cílové spotřeby na vytápění, ale vůbec neodpovídá skutečnosti a může tak mít výrazný vliv na energetické chování modelu.

Pro ověření správnosti chování modelu bude využito poskytnutých naměřených dat při experimentování s provozem budovy pro zjištění vlivu útlumových provozů vytápění na celkovou spotřebu objektu. V následující tabulce jsou uvedeny jednotlivé provozní režimy budovy:

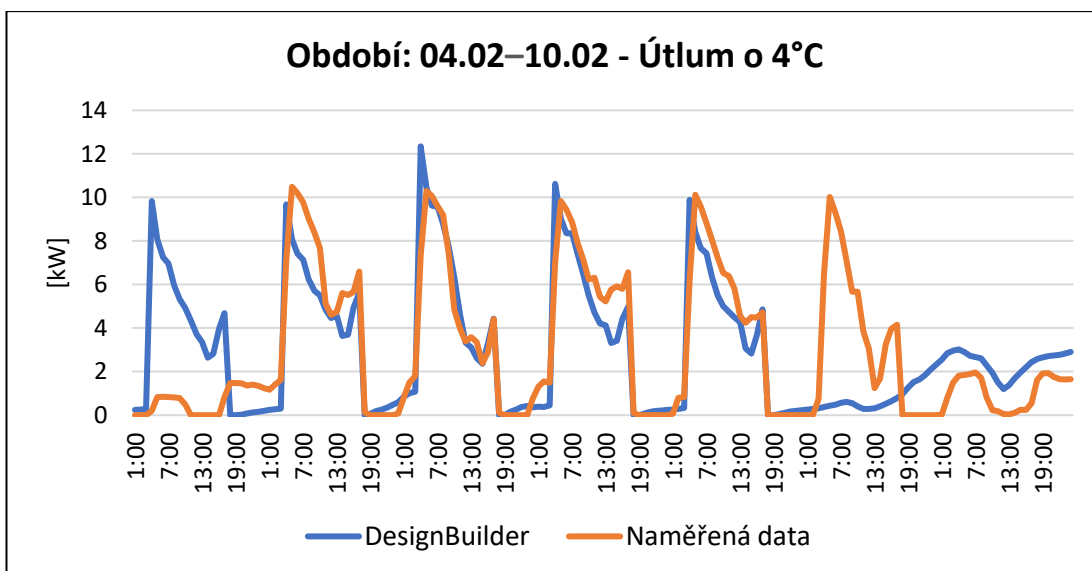
*Tab. č.4 – Provozní režimy při experimentování s provozem budovy*

Období	Pracovní dny		Víkendy a svátky
	Bez útlumu 03:00 - 17:00	S útlumem	Pouze útlum
21.01 – 27.01 2018	21 °C	19 °C	19 °C
04.02 – 10.02 2018	21 °C	17 °C	17 °C

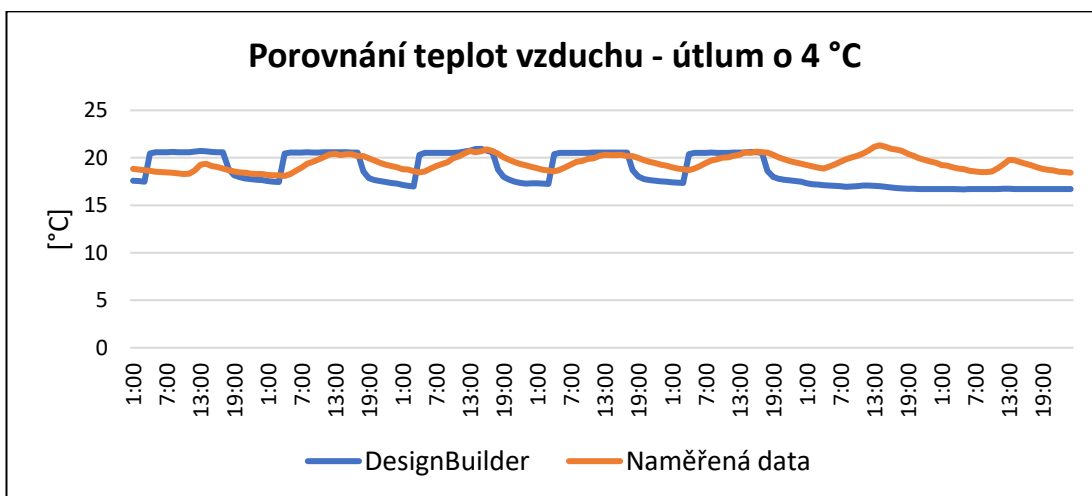
Uvedené režimy v tabulce č.4 jsou ale pro rok 2018, proto byla pro ověření správnosti modelu vytvořena kopie s klimatickými daty, kde byly nahrazeny klimatická data pro uvedené týdny těmi z roku 2018. Výsledky průběhu chování vytápění pro tyto týdny s odpovídajícími klimatickými daty a nastavenými provozními režimy jsou zobrazeny v grafech č.3 a č.4. Z grafů je patrné, že uvažované nastavení infiltrace dokáže poměrně věrohodně napodobit reálné chování budovy. Dochází zde jen k nepatrným odchýlkám v průběhu pracovní doby, kdy model má menší potřeby na vytápění. To by mohlo být způsobeno zejména nastavením vnitřních zisků od spotřebičů, nicméně pro účely práce je to dostačující. Výrazné rozdíly na začátku a konce týdne jsou způsobeny rozdílnými kalendáři, jelikož model je kalibrován pro rok 2002 a data jsou z roku 2018, proto neodpovídají datumy víkendů. Tyto grafy také zároveň dokumentují správnost nastavení všech ostatních systémů (vyjma chlazení), protože vytápění je na nich silně závislé a tím lze říci, že je model v tomto směru zkalibrován správně. Pro komplexní vyhodnocení nastavení vytápění byl zpracován graf č.5, kde je vidět průběh teplot vzduchu pro variantu s útlumem o 4°C. Model prakticky dosahuje požadovaných hodnot provozních a útlumových teplot. Nicméně jsou v grafu vidět poměrně velké skoky při náběhu na provozní vytápění v případě modelu. Model při přepnutí



Graf č.3 – Porovnání vytápění podle modelu a naměřených dat s útlumem 2 °C



Graf č.4 – Porovnání vytápění podle modelu a naměřených dat s útlumem 4 °C

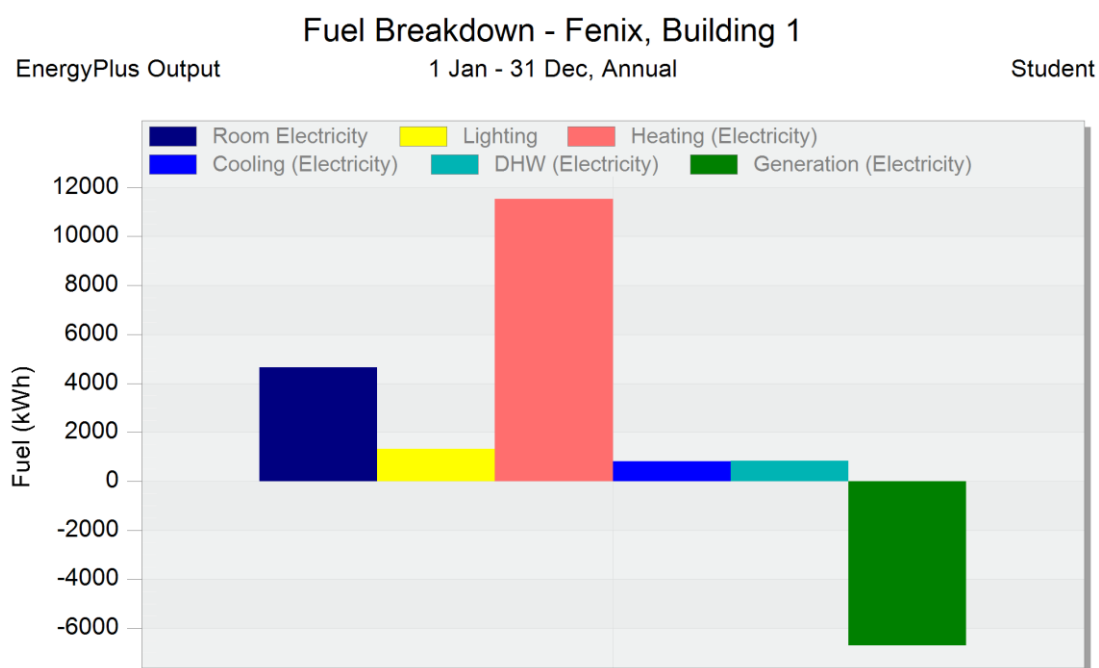


Graf č.5 – Porovnání teplot vzduchu mezi modelem a naměřenými daty

do útlumového provozu velmi rychle ztrácí teplotu vzduchu, což je způsobeno právě vytápěním konvektory, které mají velmi rychlou dynamiku vytápění, ale téměř nulovou tepelnou akumulaci do konstrukcí. Naopak naměřená data z reálného provozu se sálavým vytápěním vykazují poměrně hladký průběh teplot a díky akumulaci ani nedosáhnou požadované útlumové teploty 17 °C.

#### 4.5.9 Přenastavení chlazení

Jelikož je teplota regulována podle operativní teploty a byla změněna hodnota infiltrace, tak spotřeba energií na chlazení vzrostla ze 756 kWh na 836 kWh, tedy o 11 % více. Aby spotřeba energií na chlazení odpovídala skutečným hodnotám, tak byla limitní teplota pro spuštění chlazení nastavena na 24,5 °C. Tím je model kompletně sladěn podle skutečných spotřeb.



Obrázek č.1 – Roční spotřeby elektrické energie modelu [DesignBuilder]

#### 4.6 Vyhodnocení kalibrace modelu

Při kalibraci modelu bylo snahou zadat všechny potřebné parametry tak, aby odpovídaly skutečnosti. Přes omezující možnosti programu bylo dosaženo poměrně dobrého výsledku. Podařilo se nastavit parametry budovy a všechny systémy do optimální rovnováhy, která odpovídá skutečným spotřebám při zachování komfortu uživatelů objektu. Po zadání vstupních údajů, které byly odvozeny ze stávajícího stavu, tak se model nechoval podle

naměřených dat. Model vykazoval mnohem menší spotřeby elektrické energie na vytápění než ve skutečnosti, proto musely být přenastaveny některé reálné parametry na neodpovídající hodnoty. Jen díky tomu, že byly k dispozici rozsáhlá a podrobná naměřená data, tak kalibrace proběhla úspěšně. Graf celkových ročních spotřeb zkalibrovaného modelu je zobrazen na obrázku č.1.

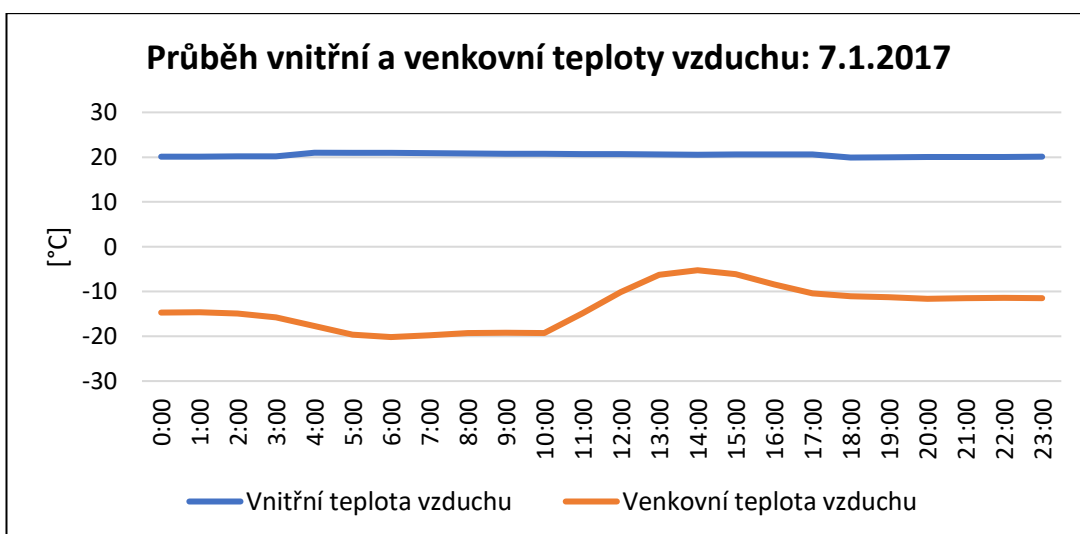
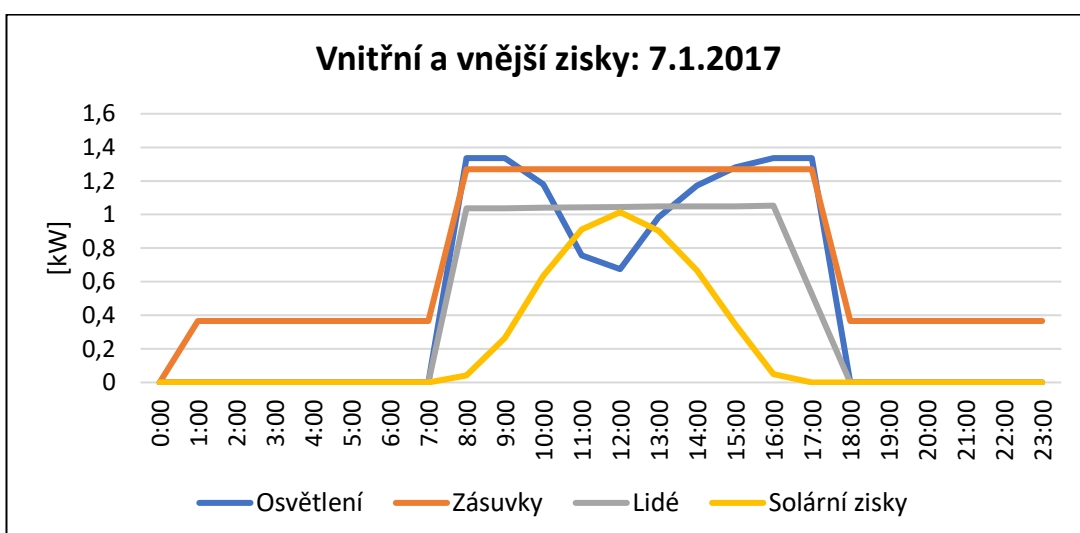
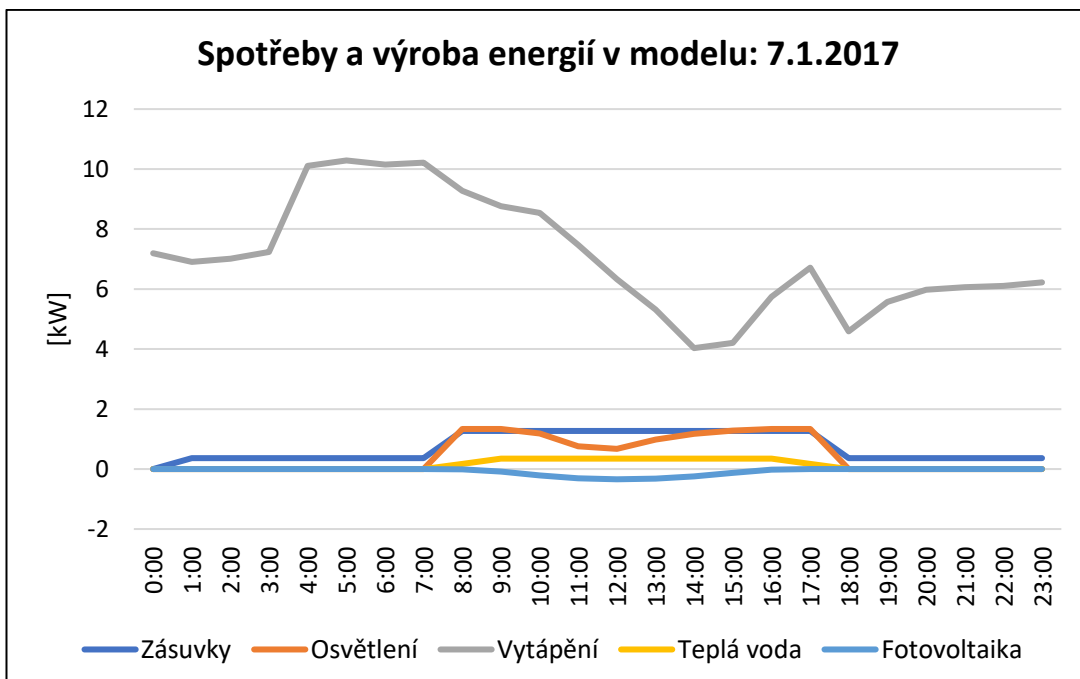
Dále byla vytvořena porovnávací tabulka č.5, kde jsou uvedeny roční spotřeby z naměřených dat a z modelu. Z tabulky je vidět poměrně přesný výsledek kalibrace, kde se hodnoty neliší o více jak 2 %.

Tab. č.5 – Srovnání spotřeb modelu a skutečného objektu

<b>Systém a zařízení</b>	<b>Reálná spotřeba [kWh]</b>	<b>Spotřeba modelu [kWh]</b>
Vytápění + ohřev vzduchu VZT	11 495	11 528
Vytápění	11 290	11 528
Ohřev vzduchu VZT	205	
Chlazení + chlazení vzduchu VZT	746	751
Chlazení	482	751
Chlazení vzduchu VZT	264	
Ventilátory VZT	682	Nemodelováno
Příprava teplé vody	784	788
Zásuvky (kancelářské vybavení)	4 617	4 643
Osvětlení	1 298	1 315
Ostatní (výtah, reklama, žaluzie)	3 947	Nemodelováno
Výroba fotovoltaických panelů	7 085	6 988

Jak již bylo avizováno, tak nebylo možné modelovat samostatně teplotní úpravy vzduchu pro vzduchotechniku a spotřeby pro ventilátory vzduchotechnické jednotky, proto je nutné tyto spotřeby převzít z naměřených dat, stejně tak jako ostatní spotřeby (výtah apod.).

Pro znázornění chování modelu v nejchladnějším dni 7.1.2017 (venkovní teplota dosahovala až -20,6 °C) byl vytvořen komplexní soubor grafů č.6. Počátky a konce rozvrhů nelze zobrazit správně, protože data jsou v hodinovém kroku. Nicméně z grafů je vidět, že model respektuje nastavení jednotlivých požadovaných parametrů a časových rozvrhů a tím tak reaguje na potřebu jednotlivých systémů v závislosti na venkovních klimatických podmínkách. Jen lineární průběh příkonů a tím i vnitřních zisků od zásuvek je neodpovídající a způsobuje tak menší odchylku od skutečného chování.



Graf č.6 – Chování modelu pro nejchladnější den 7.ledna 2017

Mimo jiné je z grafu č.6 vidět, že v tento chladný den dokáže výroba fotovoltaiky pokrýt jen spotřebu teplé vody, a to ještě nejsou započteny spotřeby na provoz baterií a měničů, takže fotovoltaická elektrárna při těchto dnech má téměř nulový přínos.

Chování objektu při chlazení nebude uváděno, jelikož uvažovaná nastavení chlazení jsou pouze pro dosažení cílových spotřeb bez ohledu na tepelný komfort. Užívání chlazení ze strany uživatelů je tedy reprezentováno roční spotřebou elektrické energie.

## 4.7 Rekapitulace nastavených parametrů modelu

### 4.7.1 Parametry budovy a systémů

Teplota vzduchu v zimě –	20,5 °C
Teplota vzduchu v zimě při útlumu –	20,0 °C
Teplota vzduchu v létě –	24,5 °C
Teplota vzduchu v zimě při útlumu –	26,0 °C
Osvětlenost kanceláře –	500 lx (2,4 W/m <sup>2</sup> /100lx)
Osvětlenost vstupní haly –	200 lx (2,4 W/m <sup>2</sup> /100lx)
Infiltrace vzduchu –	0,25 1/h
Spotřeba teplé vody –	1875 l/os/rok
Přívod čerstvého vzduchu –	50 m <sup>3</sup> /h/os
Účinnost zpětného získávání tepla –	84,5 %
Počítače –	50 W/os
Počítače útlum –	10 W/os
Kancelářské vybavení –	7,3 W/m <sup>2</sup>
Kancelářské vybavení útlum –	2,6 W/m <sup>2</sup>

### 4.7.2 Časové rozvrhy

Vytápění –	03:00 – 17:00 (COP = 0,96)
Vytápění útlum –	17:00 – 03:00 (0:00 – 24:00 víkendy)
Chlazení –	12:00 – 15:30 (EER = 3,5)
Obsazenost, osvětlení a větrání –	06:30 – 17:00
Kancelářské vybavení a počítače –	06:30 – 17:00
Otevírání oken –	nikdy
Žaluzie –	řízení podle potřeby chlazení

## 4.8 Využitelnost modelu

Model bude sloužit zejména pro získání spotřeb energetických systémů pro různé alternativní varianty, kde budou v modelu zadány odpovídajícím topným faktorem včetně ztrát při distribuci a emisi tepla. Na základě modelu bude též možné přenastavit vytápění v útlumu pro jednotlivé varianty, jelikož každý způsob vytápění má jiné chování, např. stávající vytápění elektrickou energií je citlivé na velké výkyvy výkonů kvůli jističům, proto je lepší volit teploty v útlumu velmi blízko provozním teplotám. Zhodnocení stávajícího provozu vytápění je uvedeno v kapitole 4.8.1. a 4.8.2.

Zkalibrovaný model přinesl i jiné užitečné informace, jako např. plocha fotovoltaických panelů na střeše objektu a jejich energetickou účinnost výroby elektrické energie. Dále pro výpočet tepelných ztrát budovy pro dimenzování otopných soustav budou použity navržené skladby konstrukcí včetně uvažovaných tepelně-technických vlastností.

### 4.8.1 Vliv útlumové teploty na provozní náklady vytápění

Cílem práce sice není najít efektivnější nastavení provozu vytápění stávajícího stavu, ale vzhledem k tomu, že je k dispozici zkalibrovaný model, tak je možné obecně říci, jaký vliv má nastavená teplota útlumového provozu vytápění na celkovou spotřebu vytápění při využívání elektrické energie. V tabulce č.6 jsou uvedeny hodnoty útlumů vytápění, odpovídající spotřeby na vytápění a porovnání se stávajícím stavem (20,5/20,0 °C) dle simulací provedených v DesignBuilderu.

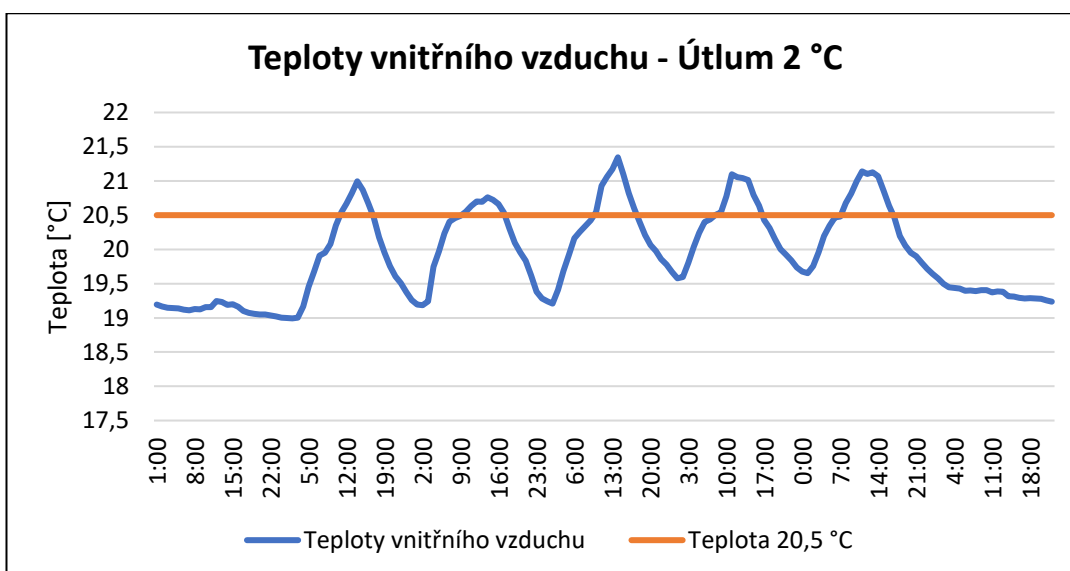
Tab. č.6 – Vliv útlumového provozu na spotřebu vytápění za rok 2017

Provozní [°C]	Útlum [°C]	Roční spotřeba [kWh]	Úspora
20,5	20,5	12 101	- 5 %
20,5	20,0	11 528	0 %
20,5	19,5	11 080	4 %
20,5	18,5	10 583	8 %
20,5	17,5	10 238	11 %
20,5	16,5	10 057	13 %
20,5	15,5	9 972	13 %

Z výsledků je patrné, že snížením útlumové teploty dochází až ke 13 % ročním úsporám při nastavení útlumové teploty o 4 °C. Při zadání nižších



hodnot teplotních útlumů prakticky už ani nedochází k úsporám elektrické energie. Je to dáno zejména tím, že při vyšších teplotních útlumech je potřeba větší příkon na vytápění pro vyrovnání teplotního rozdílu. Příkon pro vytápění je však omezen jističem a pro dosažení požadované teploty dochází k delší době odběru maximálního proudu přes jistič. Z grafů č.3 a č.4 (pro naměřená data) je takové chování vidět, kdy při 2 °C teplotním útlumu jsou příkony více „špičaté“, zatímco u 4 °C útlumu má průběh příkonů tendenci se narovnávat směrem ke špičkovému konstantnímu odběru. Pro tuto variantu bude tedy uvažováno vytápění s teplotním útlumem 2 °C, jelikož dle poskytnutých dat z experimentů bylo při tomto útlumu ještě dosaženo požadované teploty vzduchu před začátkem směny viz graf č.7.



Graf č.7 – Chování objektu 21.1. – 27.1. při zavedení útlumu 2 °C

#### 4.8.2 Vliv nastavené doby útlumu na provozní náklady vytápění

Stejně tak jako útlumová teplota je doba nastavení útlumového provozu důležitá pro celkové provozní náklady. Pro základní nastavenou dobu provozu útlumového režimu 17:00 – 03:00 pro pracovní dny a 0:00 – 24:00 pro víkendy a svátky byla sestavena tabulka č.7, kde jsou uvedeny roční spotřeby energií na vytápění pro snížení doby útlumového režimu. Z uvedené tabulky se dá obecně konstatovat, že provoz vytápění je vhodné provozovat s co možná nejdelší dobou útlumového provozu. Nicméně z již uvedeného grafu č.5 je vidět poměrně pomalý nárůst teplot vzduchu od sálavého vytápění při uvažovaném 4 °C útlumu, takže konec doby útlumového provozu by měl být skutečně s několika hodinovým předstihem před začátkem pracovní směny,

aby se objekt stihl vytopit. Pro elektrické sálavé vytápění je tedy stávající nastavení doby provozu útlumového režimu optimální.

Tab. č.7 – Vliv nastavené doby útlumu na spotřebu vytápění za rok 2017

Provozní [°C]	Útlum [°C]	Roční spotřeba [kWh]		Úspora
		17:00 – 00:00	17:00 – 03:00	
20,5	20,5	12 101	12 101	0 %
20,5	20,0	11 634	11 528	- 1 %
20,5	19,5	11 274	11 080	-2 %
20,5	18,5	10 914	10 583	-4 %
20,5	17,5	10 658	10 238	- 4 %
20,5	16,5	10 529	10 057	- 5 %
20,5	15,5	10 463	9 972	- 5 %

#### 4.9 Celkové spotřeby pro všechny systémy

Tab. č.8 – Roční spotřeby jednotlivých systémů

Systém a zařízení	Roční spotřeba [kWh]	Energonositel
Vytápění	10 378	Elektrická energie
Ohřev vzduchu VZT	205	Elektrická energie
Chlazení + chladič VZT	751	Elektrická energie
Ventilátory VZT	682	Elektrická energie
Příprava teplé vody	788	Elektrická energie
Zásuvky (kancelářské vybavení)	4 643	Elektrická energie
Osvětlení	1 315	Elektrická energie
Ostatní (výtah, reklama, žaluzie)	3 947	Elektrická energie
Výroba FVE včetně ztrát	- 4 504	Elektrická energie

### 5 Návrh alternativních variant systémů vytápění a chlazení

Nyní již přichází na řadu další důležitý krok a tím je najít alternativní a při nejlepším neoptimalnější varianty systémů vytápění a chlazení jako náhradu za stávající systém. Dle kap. 3.3 budou nahrazeny právě jen tyto 2 systémy, jelikož u ostatních technických a technologických zařízení není jejich výměna účelná z hlediska ekonomického a ani provozního. Cílem je hlavně dodržet stávající stav, tedy respektovat charakter budovy a možnosti napojení budovy na inženýrské sítě, zachovat dispozici objektu a provádět jen minimální stavební úpravy. Už jen díky těmto faktům jsou vyloučeny některé zdroje tepla

a chladu. Přehled zdrojů tepla a chladu včetně uvedení vhodnosti použití pro řešený objekt je následující tabulce č.9.

Tab. č.9 – Přehled uvažovaných zdrojů tepla a chladu

Zdroj	Možný	Poznámka
Plynový kondenzační kotel	ANO	Plynovodní řad v ulici
Kotle na biomasu	NE	Velké prostor. nároky
Kotel na uhlí	NE	Velké prostor. nároky
Soustava zásob. tepelnou energií	NE	Není k dispozici
Kogenerační jednotka	NE	Velké prostor. nároky
Tepelné čerpadlo – země/voda – vrt	NE	Špatná lokalita
Tepelné čerpadlo – země/voda – plocha	NE	Malý pozemek
Tepelné čerpadlo – vzduch/voda	ANO	
Tepelné čerpadlo – voda/voda	NE	Malý pozemek
Absorpční tepelné čerpadlo	NE	Není odpadní teplo
Ohřívač vzduchotechniky	NE	Velké prostor. nároky
Chladič vzduchotechniky	ANO	
Multi-split	ANO	Stávající systém

Z uvedené tabulky vyplývají možné zdroje tepla na vytápění. Plynový kondenzační kotel je prostorově nenáročný zdroj tepla, který však vyžaduje vybudovat novou přípojku plynu, odtah spalin včetně přívodu vzduchu a je možné využívat tento zdroj pouze pro vytápění, takže chlazení bude muset být zajištěno jiným zařízením. Tepelné čerpadlo vzduch/voda lze umístit na střechu objektu a při odpovídajícím provedení je možné ho využívat pro vytápění a chlazení, avšak velkou nevýhodou je nutnost mít záložní zdroj tepla z pravidla na elektrickou energii. Kotle na biomasu a uhlí jsou do administrativní budovy nevhodné, zejména kvůli velkým prostorovým nárokům na palivo. Soustava zásobování tepelnou energií není v blízkosti objektu a kogenerační jednotka je do takto malé administrativní budovy velmi velké a hlučné zařízení a není možné zajistit stálý odběr tepla v letních měsících. Tepelné čerpadlo země/voda-vrt není vhodné v této oblasti využívat, jelikož město Jeseník se nachází v oblasti s nejmenším geotermálním potenciálem [11]. Tepelná čerpadla země/voda-plocha a voda/voda není možné použít, protože objekt se nachází na velmi malém pozemku a v okolí není žádné vodní dílo. Pro teplovzdušné vytápění není k dispozici strojovna pro větší vzduchotechnickou jednotku a v rámci vedení tras není možné osadit větší

rozměry potrubí vzhledem k násobně větším průtokům vzduchu pro zajištění pokrytí tepelné ztráty. Nicméně pro chlazení obytných místností by mohl být využit kapacitně dostačující vestavěný chladič a chladit tak přívodním čerstvým vzduchem, jelikož tepelná zátěž objektu není až tak velká. Proto jako alternativní zdroj tepla bude uvažován plynový kondenzační kotel, nebo tepelné čerpadlo vzduch/voda. Z hlediska chlazení je tak možné tepelné čerpadlo s reverzním chodem, stávající systém multi-split nebo chlazení přívodního vzduchu vzduchotechnickou jednotkou.

Výběr zdroje tepla a chladu je samozřejmě rozhodující kritérium, avšak ke správné a účelné funkci zdroje je nutné navrhnout i odpovídající koncový prvek, který bude vyrobené teplo a chlad emitovat do prostoru. Pro uvažované zdroje tepla a chladu je sestavena tabulka č.10, kde jsou uvedeny uvažované koncové prvky.

Tab. č.10 – Přehled uvažovaných koncových prvků pro vytápění a chlazení

Koncový prvek	Plynový kondenzační kotel		Tepelné čerpadlo	
	Topení	Chlazení	Topení	Chlazení
Desková tělesa	ANO	NE	ANO	NE
Konvektory	ANO	NE	ANO	NE
Sálavé panely	NE	NE	NE	NE
Podlahové vytápění	NE	NE	NE	NE
Stropní vytápění	NE	NE	ANO	ANO
Stěnové vytápění	NE	NE	ANO	ANO
Fan-coil	NE	NE	NE	NE
Indukční jednotka	NE	NE	NE	NE

Z tabulky jsou patrné jednotlivé koncové prvky pro uvažované zdroje tepla a chladu. Desková otopná tělesa jsou v dnešní době prakticky standardem a jsou použitelné i pro tepelné čerpadlo. Konvektory jsou vhodné pouze v zasedací místnosti, jelikož tam jsou okna bez parapetů. V případě sálavých panelů existují provedení pro obytné místnosti při užívání kondenzačních kotlů, ale z důvodu hygienického omezení sálavého výkonu na hlavy uživatelů je nutné volit menší teplotní spády a tím tak vycházejí velké plochy těchto panelů, proto z estetických důvodů nebudou uvažovány. Vzhledem k tomu, že je na podlahách v obytných místnostech položen

koberec, tak není vhodné ani podlahové vytápění. Stěnové a stropní vytápění (kapilární rohože v omítce) při použití tepelného čerpadla s reverzním chodem je možné využít pro topení i chlazení. Fan-coil jednotky nejsou vhodné z důvodu hlučnosti a omezeného prostoru pro vedení vzduchotechnického potrubí a osazení tlumičů hluku. Indukční jednotky jsou vhodné spíše do prostorů s velkým počtem lidí, protože pro předání chladícího výkonu potřebují větší průtok čerstvého vzduchu, jenž pro kanceláře v řešené budově, kde sedí třeba jen jedna osoba, tak vychází větší počet indukčních trámců a průtoky vzduchu zvedat nelze bez zásahu do stavebního řešení (zejména konstrukční výška).

## **5.1 Sestavení alternativních variant**

Sestavení bude probíhat na základě kombinací výše uvedených možností. Celkově budou navrženy 3 alternativní varianty zejména vytápění a pokud to bude možné tak i chlazení.

### **5.1.1 Varianta č.1 – Plynový kondenzační kotel + chlazení vzduchem**

V této variantě je zdrojem tepla plynový kondenzační kotel v provedení typu C, který bude umístěn v technické místnosti 3.NP. Pro plynový kotel, tak bude nutné navrhnout plynovodní přípojku včetně rozvodu plynu v budově. Dále bude nutné navrhnout odtah spalin a přívod spalovacího vzduchu ke kotli. Bude se jednat o dvoutrubkovou teplovodní otopnou soustavu s deskovými otopnými tělesy s teplotním spádem soustavy 65/50 °C. Vzhledem k velmi nízké roční spotřebě elektrické energie na ohřev čerstvého vzduchu (205 kWh), tak bude stávající elektrický ohříváč ve vzduchotechnické jednotce ponechán, jelikož při změně na teplovodní výměník by přibyl do otopné soustavy další okruh a tím by vzrostly investiční a provozní náklady oproti stávající variantě. Další okruh by znamenal přidání dalších 2 oběhových čerpadel (pro otopná tělesa a směšovací uzel vzduchotechniky), hydraulického vyrovnávače, třícestných směšovacích ventilů a dalších armatur. Regulace topné vody na zdroji tepla bude na základě ekvitermní regulace a regulaci teplot v místnostech budou zajišťovat termostatické hlavice. Pro chlazení obytných místností bude využita vzduchotechnická jednotka s vestavěným chladičem, který bude zajišťovat chlazení vzduchu na

maximálně přípustnou teplotu vzhledem k omezenému množství přívodního vzduchu.

Tato varianta by tak měla představovat řešení, které představuje nejnižší pořizovací náklady za cenu toho, že v případě chlazení nebude v letním období zajištěn tepelný komfort a nebude možné zajistit rozdílné požadavky na chladící výkony v jednotlivých místnostech, jelikož se jedná o centrální systém bez zónové regulace.

### **5.1.2 Varianta č.2 – Tepelné čerpadlo vzduch/voda + Multi-split**

Zdrojem tepla bude tepelné čerpadlo vzduch/voda s invertorovým kompresorem umístěné na střeše objektu, které bude sloužit pouze pro vytápění. Primární okruh bude opatřen doplňkovým zdrojem tepla (elektrická patrona v rámci systémového modulu) a samotné tepelné čerpadlo bude navrženo na cca 70 % tepelné ztráty v závislosti na topném faktoru tepelných čerpadel na trhu [12]. Jako koncové prvky budou použity desková otopná tělesa. Pracovní spád soustavy bude navržen na 50/40 °C. Ohřev vzduchu ve vzduchotechnické jednotce bude řešen stejným způsobem jako v případě varianty č.1, tedy elektrickým ohříváčem. Regulace topné vody na zdroji tepla bude na základě ekvitermní regulace a regulaci teplot v místnostech budou zajišťovat termostatické hlavice. Chlazení se předpokládá jako v případě stávající varianty, tedy multi-split + přímý výpar ve vzduchotechnické jednotce.

Touto variantou je navržen systém, který představuje nízké provozní náklady a je také zajištěno individuální řízení výkonů chladících zařízení v jednotlivých místnostech a je možné v přechodných obdobích topit a zároveň chladit.

### **5.1.3 Varianta č.3 – Tepelné čerpadlo vzduch/voda s reverzním chodem**

Zdrojem tepla bude tepelné čerpadlo s invertorovým kompresorem, které bude možné využívat jak pro topení, tak i chlazení. Jako koncový prvek budou navrženy kapilární rohože instalovaných do omítky nebo jako součást podhledů. Teplotní spád pro vytápění se předpokládá 32/29 °C a pro chlazení 16/19 °C. Tepelné čerpadlo bude dimenzováno tak, aby potřeba chladu byla plně pokryta tepelným čerpadlem a od velikosti tohoto čerpadla se poté stanoví pokrytí tepelné ztráty čerpadlem a případného záložního zdroje. Ohřev vzduchu ve vzduchotechnické jednotce bude ponechán podle stávající

varianty, tedy elektrickým ohříváčem. Chlazení vzduchu na neutrální teplotu bude zajišťovat kondenzační jednotka napojená na přímý výparník vzduchotechnické jednotky. Byla by samozřejmě možnost napojit chladič vzduchotechniky na chladící vodu z tepelného čerpadla, avšak je zde stejný problém jako u ohříváče, a to že roční spotřeba na chlazení vzduchu je velmi malá (264 kWh) a tím by narostly pořizovací náklady na další okruh. Pořizovací cena kondenzační jednotky bude sice větší než náklady na doplnění nového okruhu pro směšovací uzel (směšovací ventil, rozdělovací ventil, čerpadlo a armatury), ale nebude nutné navrhovat tepelné čerpadlo s vyšším chladícím výkonem (o cca 1,8 kW).

Tato varianta by měla mít nejnižší provozní náklady a je také zajištěno regulovatelné chlazení poskytující dostatečný tepelný komfort, avšak nelze zároveň topit a chladit.

## **5.2 Srovnání navržených variant s původním řešením**

### **5.2.1 Původní varianta – elektrické vytápění + Multi-split**

Elektrické stropní sálavé vytápění se řadí mezi nejúčinnější systémy z hlediska distribuce a emise tepla a jsou regulovatelné v celém svém výkonovém rozsahu. Díky převážně radiační složce působí příznivě na rovnoměrné rozložení teploty po výšce v místnosti, a tím je tak zamezeno přirozené cirkulaci vzduchu, která způsobuje víření prachových částic. Avšak tou největší výhodou elektrického vytápění jsou velmi nízké pořizovací náklady a téměř nulové náklady na údržbu a servis [13]. Co se týká fotovoltaických panelů, které jsou obnovitelným zdrojem energie, tak dokáží pozitivně snižovat energetickou náročnost v průběhu celého roku a zásobovat tak vyrobenou energií i ostatní systémy v budově. Dále je možnost využívat bateriové úložiště pro nabíjení v dobách s nízkým tarifem a provozovat tak budovu za nižší náklady přes den. Chlazení je možné podle aktuálních potřeb nezávisle na celé budově v každé pobytové místnosti a v dostatečném výkonu.

Jako hlavní nevýhoda samotného elektrického vytápění je ekologická náročnost, jelikož má nejvyšší faktor primární neobnovitelné energie. Dále provozní náklady i s tarifem pro přímotop jsou poměrně vysoké vzhledem k nízkému topnému faktoru elektrického vytápění ( $COP=1,0$ ). Fotovoltaické panely jsou naopak velmi investičně nákladné a jejich využití je silně závislé

na klimatických podmínkách, kdy v zimě je přínos vzhledem k pořizovacím nákladům velmi malý. Nevýhodou stávajícího systému chlazení jsou vysoké investiční náklady vzhledem k nízkému užívání během roku.

### **5.2.2 Varianta č.1 – Plynový kondenzační kotel + chlazení vzduchem**

Oproti stávající variantě je vytápění plynem provozně méně nákladnější a z hlediska ekologie se jedná o příznivější variantu než při vytápění elektrickou energií. Využití vzduchotechnické jednotky pro chlazení vzduchem výrazně snižuje investiční náklady oproti původní variantě.

Systém teplovodního vytápění s kondenzačním kotlem a deskovými otopnými tělesy však s sebou nese vyšší investiční náklady na vytápění než v případě stávajícího stavu a je nutné vybudovat přívod plynu včetně přípojky a zajistit přívod spalovacího vzduchu a odtah spalin. Vzhledem k uvažovanému řešení chlazení obytných místností není možné zónově regulovat výkon chlazení. Provoz zařízení a spotřebičů v budově bude plně z distribuční sítě bez možnosti akumulace elektrické energie za nízký tarif.

### **5.2.3 Varianta č.2 – Tepelné čerpadlo vzduch/voda + Multi-split**

Vytápění tepelným čerpadlem vzhledem k většímu topnému faktoru přinese menší provozní náklady a ekologičtější řešení než v případě samostatného elektrického vytápění.

Velkou nevýhodou jsou však větší pořizovací náklady na vytápění než u stávající varianty a na střeše objektu se bude instalovat zařízení, které v provozu generuje hluk. Dalším problémem je životnost kompresoru, která bývá výrobcí většinou garantována na 10 let od počátku provozu. Výhody a nevýhody systému Multi-split v této variantě jsou stejné jako v původním stavu. Stejně jako u varianty č.1 nelze tímto řešením zajistit provoz ostatních zařízení a spotřebičů v budově na elektrickou energii.

### **5.2.4 Varianta č.3 – Tepelné čerpadlo vzduch/voda s reverzním chodem**

Stejně tak jako ve variantě č.2 se bude jednat o ekonomicky a ekologicky příznivější řešení než ve stávajícím stavu. Ze všech variant však toto řešení poskytuje nejmenší provozní náklady, jelikož při chlazení a topení jsou výstupní teploty z tepelného čerpadla s nejvyšším chladícím a topným faktorem. I z investičního hlediska by se nemuselo jednat o nejdražší alternativu, jelikož pro vytápění a chlazení je využit jen jeden systém.



Nevýhody této varianty jsou obdobné jako v případě varianty č.2, nicméně systémem nelze dosáhnout kombinace chlazení a topení v jeden okamžik a vzhledem k malému rozdílu teplot mezi teplotou vzduchu a teplotou vody v systému dochází k pomalejšímu náběhu požadovaných teplot.

## **6 Výpočet tepelných ztrát a tepelné zátěže**

Na základě parametrů obálky budovy a nastavených mikroklimatických podmínek ve zkalibrovaném modelu byly vypočteny návrhové tepelné a chladicí výkony pro celý objekt. Návrhová tepelná ztráta objektu činí 10,5 kW a maximální soudobý chladicí výkon je 7,3 kW dle přílohy č.1. Na základě těchto hodnot budou navrženy zdroje tepla a chladu pro stávající stav i pro alternativní varianty.

## **7 Původní varianta – Elektrické sálavé vytápění**

### **7.1 Projektová dokumentace stávajícího stavu**

Pobytové místnosti a vstupní hala budou vytápěny sálavými stropními panely instalovaných pod stropem do nosného rámu nebo budou součástí kazetového podhledu v zápusťném rámu. V prostorách hygienického a sociálního zázemí budou použity topné rohože vložené do vrstvy lepidla pod keramickou dlažbu. Každá místnost bude vybavena prostorovým termostatem. Výrobky budou navrženy ze sortimentu firmy Fenix.

### **7.2 Fotovoltaická elektrárna**

Na základě simulace byla zjištěna potřebná plocha panelů 50,7 m<sup>2</sup> s minimální účinností 16,0 %. V rámci omezeného prostoru na střeše byly navrženy monokrystalické panely od firmy Gintung v celkovém počtu 25 panelů a celkovou účinností 18,0 %. Počet panelů byl odvozen z jednotkové výroby na m<sup>2</sup> panelu s 1 % účinností. Ostatní komponenty fotovoltaické elektrárny (bateriové úložiště, střídače, jističe a ostatní zařízení) nebyly projektovány, ale budou pouze součástí výkazu výměr. Jejich specifikace bude určena na základě fotografií pořízených přímo z budovy [14].

### **7.3 Výkaz výměr pro stávající stav**

Z projektové dokumentace stávajícího stavu byl sestaven výkaz výměr všech komponent souvisejících s návrhem této varianty. Výkaz výměr byl oceněn na základě ceníkových cen výrobců jednotlivých zařízení a prvků. Oceněný výkaz výměr je v příloze č.2. Celkové pořizovací náklady pro tuto variantu tak činí 266 987 Kč bez uvažování fotovoltaické elektrárny a s jejím uvažováním jsou celkové náklady 1 155 676 Kč.

## **8 Varianta č.1 – Plynový kondenzační kotel + chlazení VZT**

### **8.1 Projektová dokumentace varianty č.1**

Jelikož se jedná o administrativní budovu, kde není sprcha nebo koupelna, tak budou použity desková otopná tělesa. V zasedací místnosti u okna bez parapetu se použije podlahový konvektor s přirozenou konvekcí. Otopná tělesa budou uvažována od firmy Korado, jelikož se jedná o standardní a nejznámější otopná tělesa. Návrh velikosti těles bude podle vypočtených tepelných ztrát. Potrubí bude navrženo z mědi, jelikož má dobré hydraulické vlastnosti, dlouhou životnost a spojování je jednoduché a spolehlivé, což je vzhledem k instalaci do podlah žádaným parametrem [15]. Vedení potrubí se předpokládá v podlaze ve vrstvě tepelné izolace, popř. pod stropem v podhledu. Hydraulika otopné soustavy bude provedena ve výpočtovém programu DIMOS. Kapacita oběhového čerpadla integrovaného v kotli bude ověřena na základě tlakové ztráty potrubní sítě a požadovaného průtoku.

### **8.2 Návrh zdroje tepla**

Zdroj tepla bude vybrán na základě k přihlídnutí ceny a k rozsahu topného výkonu. V tabulce č.11 jsou uvedeny možné kondenzační kotle včetně uvedení ceny a rozsahů topných výkonů pro teplotní spád 80/60 °C. Při požadavku na nejnižší cenu by byl nejvhodnější kotel od firmy VIADRUS, ovšem je potřeba přihlídnout i k nejmenšímu topnému výkonu, jelikož pro budovy s nízkou spotřebou energie je žádoucí navrhnout kotel s největším regulačním rozsahem, tedy nejnižším možným topným výkonem. Kotel s nejmenším topným výkonem je tak od firmy Vaillant, avšak už je téměř dvakrát dražší než nejlevnější kotel. Jako neoptimálnější kotel byl zvolen

THERM 18 KD, jenž patří k téměř nejlevnějším kotlům s prakticky největším regulačním rozsahem.

Tab. č. 11 – Výběrová tabulka kondenzačních kotlů

Kondenzační plynový kotel	Cena bez DPH	Min výkon [kW]	Max výkon [kW]
Vaillant VU 156/5-7	48 800	1,7	14,2
Logamax plus GB 062-14	34 650	2,1	14,0
VIADRUS K4 N	28 990	3,0	16,0
Protherm Panther 12 KKO	37 010	4,4	13,2
Viessmann Vitocrossal 300	105 050	2,4	11,8
Bosch Condens GC9000i 20	63 700	2,8	20,0
THERM 18 KD	31 900	1,8	19,0

### 8.3 Pokrytí tepelné zátěže chlazeným čerstvým vzduchem

Z maximálního množství a minimální teploty přívodního čerstvého vzduchu (18 °C) lze dopočítat jaký bude maximální chladicí výkon poskytnutý větracím vzduchem. Chladicí výkony a tepelné zátěže pro jednotlivé místnosti jsou uvedeny v tabulce č.12. Z hodnot je patrné, že při chlazení přívodním čerstvým vzduchem nelze dosáhnout požadovaného chladicího výkonu. Ochlazený čerstvý vzduch bude tedy jen zpomalovat náběh teplot od tepelných zisků a nebude tak dosažen tepelný komfort v letních měsících s vyššími teplotami.

Tab. č. 12 – Chlazení místností přívodním čerstvým vzduchem

Číslo místnosti	Množství vzduchu [m <sup>3</sup> /h]	Chlazení vzduchem Q [kW]	Tepelná zátěž [kW]	Pokrytí tepelné zátěže
103	265	0,72	1,79	40 %
202	100	0,27	0,85	31 %
203	100	0,27	1,12	24 %
204	200	0,54	1,48	37 %
303	700	1,89	3,13	61 %

### 8.4 Výkaz výměr pro variantu č.1

Z projektové dokumentace varianty č.1 byl sestaven výkaz výměr všech komponent souvisejících s návrhem této varianty. Výkaz výměr byl oceněn na základě ceníkových cen výrobců jednotlivých zařízení a prvků. Oceněný výkaz výměr je v příloze č.3. Celkové pořizovací náklady pro tuto variantu tak činí 209 125 Kč.

## 8.5 Účinnost systémů vytápění a chlazení

Účinnosti zdrojů, distribuční soustavy a prvků sdílení energie budou převzaty z normy ČSN 73 0331-1. Níže jsou uvedeny uvažované účinnosti systému vytápění a chlazení.

### 8.5.1 Vytápění

#### Zdroj tepla – plynový kondenzační kotel

$$\eta_{h,gen} = 0,93$$

#### Distribuční soustava – teplovodní dvoutrubkový systém

$$\eta_{h,hw,dis} = \frac{Q_{h,nd} * f_{h,hw}}{Q_{h,nd} * f_{h,hw} + \eta_{h,em} * Q_{h,ls,dis,nrbl}}$$

$Q_{h,nd}$  – potřeba energie na vytápění (10 870 kWh)

$f_{h,hw}$  – podíl pokrytí potřeby energie teplovodním systémem

$\eta_{h,em}$  – účinnost sdílení energie na vytápění (0,88)

$Q_{h,ls,dis,nrbl}$  – teoretická nevyužitá ztráta tepla rozvodů [kWh]

$$Q_{h,ls,dis,nrbl} = 0,001 * q_{h,ls,dis,nrbl} * L_h * t_{h,hw,op}$$

$q_{h,ls,dis,nrbl}$  – měrná tepelná ztráta rozvodů [W/m]

$L_h$  – délka přívodního potrubí [m]

$t_{h,hw,op}$  – roční doba provozu systému [h]

Pro stanovení měrné tepelné ztráty rozvodů bude určena průměrná střední teplota teplotonosné látky odpovídající průměrné venkovní teplotě za otopné období. Pro průměrnou venkovní teplotu 5 °C vychází střední teplota teplotonosné látky 40,6 °C (návrhový spád 65/50 °C) dle výpočetní pomůcky na serveru tzb-info.cz [16]. Pro tuto střední teplotu tak činí ztráta rozvodů 3,3 W/m dle ČSN 73 0331-1.

$$Q_{h,ls,dis,nrbl} = 0,001 * 3,3 * 124 * 5808 = 2376 \text{ kWh}$$

$$\eta_{h,hw,dis} = \frac{10\,870}{10\,870 + 0,88 * 2376} = 0,85$$

Tepelné ztráty v rozvodech by pravděpodobně měli být mnohem menší, jelikož potrubí topné vody je vedeno v podlaze vytápěných místností

a uvedenou účinností je tak veškeré teplo v podlaze od potrubí považováno jako nevyužitelné.

#### Sdílení energie – desková otopná tělesa

$$\eta_{h,em} = 0,88$$

#### Účinnost celého systému vytápění

$$\eta_h = \eta_{h,gen} * \eta_{h,hw,dis} * \eta_{h,em}$$

$$\eta_h = 0,93 * 0,85 * 0,88 = 0,70$$

Tato hodnota účinnosti bude zadána do modelu v Designbuilderu pro zjištění celkových ročních spotřeb na vytápění.

### 8.5.2 Chlazení

#### Zdroj chladu – kondenzační jednotka napojená na přímý výparník

$$\eta_{c,gen} = EER = 2,6$$

#### Distribuční soustava – vzduchotechnické potrubí

$$\eta_{c,dis} = \frac{Q_c}{Q_c + \eta_{c,em} * Q_{c,ls,dis,nrbl}}$$

$Q_c$  – potřeba energie na chlazení (746 kWh)

$\eta_{c,em}$  – účinnost sdílení energie na chlazení (1,0)

$Q_{c,ls,dis,nrbl}$  – teoretická nevyužitá ztráta chladu rozvodů [kWh]

$$Q_{h,ls,dis,nrbl} = 0,001 * q_{c,ls,dis,nrbl} * L_h * t_{c,op}$$

$q_{c,ls,dis,nrbl}$  – měrná tepelná ztráta rozvodů [W/m]

$L_h$  – délka rozvodů přívodu vzduchu [m]

$t_{c,op}$  – roční doba provozu systému – letní měsíce mimo topnou sezónu [h]

Pro výpočet ztráty chladu ve vzduchotechnickém potrubí bude použita výpočetní online pomůcka IsodimCZ [17]. Po zadání průměrného profilu vzduchotechnického potrubí Ø160 a tloušťky tepelné izolace 40 mm ( $\lambda=0,34$  W/m\*k) vychází měrná ztráta chladu 1,4 W/m.

$$Q_{h,ls,dis,nrbl} = 0,001 * 1,4 * 41 * 1012 = 58 \text{ kWh}$$

$$\eta_{c,dis} = \frac{746}{746 + 1,0 * 58} = 0,93$$

### Sdílení energie – vzduchotechnická vyústka

$$\eta_{c,em,ahu} = 1,0$$

### Účinnost celého systému chlazení

$$\eta_h = \eta_{c,gen} * \eta_{c,dis} * \eta_{c,em,ahu}$$

$$\eta_h = 2,6 * 0,93 * 1,0 = 2,4$$

Tato hodnota účinnosti bude zadána do modelu v Designbuilderu pro zjištění celkových ročních spotřeb na chlazení.

## **8.6 Vliv útlumového provozu na roční spotřeby vytápění**

V kap. 4.8.1 byl uveden vliv útlumové teploty na roční spotřeby objektu na vytápění. V případě původní varianty tak roční úspory při nastavení větších útlumových teplot dosahovaly až ke 13 % vzhledem k ročním spotřebám. V případě alternativní varianty č.1 budou úspory na vytápění při zavedení teplotních útlumů procentuálně dosahovat stejných hodnot jako u původní varianty. Vliv útlumové teploty na vytápění teplovodním systémem s plynovým kondenzačním kotlem vzhledem k původnímu nastavení 20,5/20,0 °C je uveden v tabulce č.13.

Tab. č. 13 – Vliv útlumového provozu na spotřebu vytápění za rok 2017

<b>Provozní [°C]</b>	<b>Útlum [°C]</b>	<b>Celková roční spotřeba [kWh]</b>	<b>Úspora</b>	<b>Roční spotřeba na vytápění [kWh]</b>
20,5	20,5	17 016	- 5 %	16 801
20,5	20,0	16 212	0 %	16 007
20,5	19,5	15 581	4 %	15 384
20,5	18,5	14 883	8 %	14 694
20,5	17,5	14 397	11 %	14 215
20,5	16,5	14 143	13 %	13 962
20,5	15,5	14 023	13 %	13 844

## **8.7 Spotřeby paliv a energií pro variantu č.1**

### **8.7.1 Oběhové čerpadlo**

Kotlové oběhové čerpadlo bohužel nemohlo být modelováno v Designbuilderu a musí být stanoveno na základě tabulkových hodnot. Pro stanovení ročních nákladů tak bude využita norma ČSN 73 0331-1. Průměrný elektrický příkon oběhového čerpadla byl stanoven na základě půdorysné plochy obsluhované čerpadlem s proměnnými otáčkami hodnotou 23,6 W.

Celkový počet hodin topné sezóny je 5 808 hodin z čehož je roční příkon oběhového čerpadla 137 kWh.

### 8.7.2 Celkové spotřeby energií pro všechny systémy

Tab. č. 14 – Dílčí spotřeby jednotlivých systémů

System a zařízení	Roční spotřeba [kWh]	Energonositel
Vytápění	14 143	Plyn
Oběhové čerpadlo vytápění	137	Elektrická energie
Ohřev vzduchu VZT	205	Elektrická energie
Chlazení vzduchu VZT	981	Elektrická energie
Ventilátory VZT	682	Elektrická energie
Příprava teplé vody	788	Elektrická energie
Zásuvky (kancelářské vybavení)	4 643	Elektrická energie
Osvětlení	1 315	Elektrická energie
Ostatní (výtah, reklama, žaluzie)	3 947	Elektrická energie

## 9 Varianta č.2 – Tepelné čerpadlo vzduch/voda + multi-split

### 9.1 Projektová dokumentace varianty č.2

Tato varianta je z hlediska otopné soustavy obdobná jako varianta č.1 tedy budou použita desková otopná tělesa a potrubí bude z mědi. Vzhledem k faktu, že je hlavním zdrojem tepelné čerpadlo, tak se změní teplotní spád soustavy na 50/40 °C. Z hlediska hydrauliky otopné soustavy se zvětší otopná tělesa, zvětší se rozměry potrubí a průtok topné vody.

### 9.2 Výběr tepelného čerpadla vzduch/voda

Tepelné čerpadlo v monovalentním chodu bude dimenzováno na cca 80 % z celkové tepelné ztráty objektu. Tomuto výkonu odpovídá venkovní teplota -7 °C, při které ještě bude fungovat pouze tepelné čerpadlo a pod touto teplotou sepne záložní elektrický zdroj. Z hlediska sledovaného roku 2017 by provoz záložního zdroje trval 316 hodin, což činí 5 % z celkové doby otopné sezóny. Jelikož je tepelné čerpadlo určeno pouze pro vytápění, tak teplota přívodní vody do otopné soustavy bude regulována ekvitermní regulací. Pro venkovní teplotu -7 °C a návrhový pracovní spád soustavy (50/40 °C), tak vychází teplota přívodní vody 45 °C [16]. Na základě této teploty přívodní vody a návrhového výkonu tepelného čerpadla 8,2 kW bude vybráno tepelné čerpadlo, které bude mít nejpříznivější cenu a nejvyšší topný faktor při -7 °C.

V tabulce č.15 jsou uvedeny vyhovující tepelná čerpadla vzduch/voda včetně ceny a topného faktoru odpovídajícího venkovní teplotě -7 °C.

Tab. č. 15 – Výběrová tabulka tepelných čerpadel vzduch/voda

<b>Tepelné čerpadlo vzduch/voda</b>	<b>Cena bez DPH</b>	<b>COP při -7 °C</b>	<b>COP při -15 °C</b>
Vaillant aroTHERM VWL 155/2	157 100	2,3	2,0
Regulus EcoAir 614 M	159 900	1,9	1,6
Buderus WPLS 11.2	200 900	2,1	1,8
NIBE F2040-12	155 000	2,1	1,8
Stiebel Eltron WPL 18 E	217 880	2,4	2,1

Výše jsou uvedena tepelná čerpadla, u kterých bylo možné zjistit technické parametry pro uvažovanou výstupní teplotu 45 °C. Velká část výrobců udává pouze předepsané hodnoty pro teplotu přívodní vody 35 °C, ale už neuvádí přepočty na jiné teploty, proto je seznam možných tepelných čerpadel tak malý. Nicméně z uvedených variant je cenově nejpříznivější tepelné čerpadlo od firmy NIBE, které ale už nenabízí nejlepší topný faktor. Z těchto důvodů bude navrženo tepelné čerpadlo od firmy Vaillant, které patří téměř k nejlevnějším a nabízí nejlepší topný faktor vzhledem k ceně. Uvažované tepelné čerpadlo má při návrhové venkovní teplotě -15 °C topný výkon 7,1 kW, což odpovídá přibližně 70 % návrhové tepelné ztráty, přičemž záložní elektrický zdroj tak bude mít topný výkon 4,0 kW. Záložní zdroj bude součástí hydraulického modulu s integrovanými zabezpečovacími zařízeními. Připojení tepelného čerpadla a hydraulického modulu bude přes malou taktovací nádobu (40 l), která bude sloužit jako hydraulické oddělení integrovaných oběhových čerpadel zdrojů tepla od oběhového čerpadla otopné soustavy a zároveň bude sloužit jako doplňkový vodní objem pro odmrazování výparníku [18].

### 9.3 Výkaz výměr pro variantu č.2

Z projektové dokumentace varianty č.2 (příloha č.4) byl sestaven výkaz výměr, který byl oceněn na základě ceníkových cen výrobců jednotlivých zařízení a prvků. Celkové pořizovací náklady pro tuto variantu činí 533 031 Kč.



## 9.4 Účinnost systémů vytápění a chlazení

Stejně tak jako u varianty č.1 bude využita pro stanovení dílčích účinností využita norma ČSN 73 0331-1. Níže jsou uvedeny uvažované účinnosti systému vytápění a chlazení.

### 9.4.1 Vytápění

#### Zdroj tepla – tepelné čerpadlo vzduch/voda

Pro stanovení sezónního faktoru tepelného čerpadla s vlivem záložního elektrického zdroje (SPF) byla využita výpočetní pomůcka, která je uvedena v příloze č.4.

$$\eta_{h,gen} = SPF = 3,2$$

#### Distribuční soustava – teplovodní dvoutrubkový systém

$$\eta_{h,hw,dis} = \frac{Q_{h,nd} * f_{h,hw}}{Q_{h,nd} * f_{h,hw} + \eta_{h,em} * Q_{h,ls,dis,nrbl}}$$

$Q_{h,nd}$  – potřeba energie na vytápění (10 870 kWh)

$f_{h,hw}$  – podíl pokrytí potřeby energie teplovodním systémem

$\eta_{h,em}$  – účinnost sdílení energie na vytápění (0,88)

$Q_{h,ls,dis,nrbl}$  – teoretická nevyužitá ztráta tepla rozvodů [kWh]

$$Q_{h,ls,dis,nrbl} = 0,001 * q_{h,ls,dis,nrbl} * L_h * t_{h,hw,op}$$

$q_{h,ls,dis,nrbl}$  – měrná tepelná ztráta rozvodů [W/m]

$L_h$  – délka přívodního potrubí [m]

$t_{h,hw,op}$  – roční doba provozu systému [h]

Pro stanovení měrné tepelné ztráty rozvodů bude využit stejný postup jako u varianty č.1, tedy na základě průměrné venkovní teploty (5 °C) vychází střední teplota teplotnosné látky 34 °C (návrhový spád 50/40 °C) dle výpočetní pomůcky na serveru tzb-info.cz [16]. Pro tuto střední teplotu tak činí ztráta rozvodů 2,9 W/m dle ČSN 73 0331-1.

$$Q_{h,ls,dis,nrbl} = 0,001 * 2,5 * 124 * 5808 = 1 801 kWh$$

$$\eta_{h,hw,dis} = \frac{10 870}{10 870 + 0,88 * 1 801} = 0,86$$

#### Sdílení energie – desková otopná tělesa

$$\eta_{h,em} = 0,88$$

### Účinnost distribuce a sdílení tepla

$$\eta_h = \eta_{h,hw,dis} * \eta_{h,em}$$

$$\eta_h = 0,86 * 0,88 = 0,76$$

Tato hodnota účinnosti bude využita při výpočtu vlivu elektrického záložního zdroje při teplotních útlumech vytápění tepelným čerpadlem.

### Účinnost celého systému vytápění

$$\eta_h = \eta_{h,gen} * \eta_{h,hw,dis} * \eta_{h,em}$$

$$\eta_h = 3,2 * 0,86 * 0,88 = 2,42$$

Tato hodnota účinnosti celého systému bude zadána do Designbuilderu pro zjištění ročních spotřeb bez útlumového vytápění.

#### **9.4.2 Chlazení**

Chlazení bude stejné jako v případě stávajícího stavu.

#### **9.5 Vliv útlumového provozu na roční spotřeby vytápění**

U plynového kotle bylo možné použít vyšší teplotní útlum, jelikož cena za jednotkové vyrobené teplo není závislá na venkovní teplotě vzduchu. U tepelného čerpadla však zavedení teplotního útlumu přináší zatížení špičkovým výkonem s nízkým topným faktorem při přestupu na provozní vytápění a tím tak může dojít k častějšímu chodu záložního zdroje. Pro zjištění celkových spotřeb záložního zdroje bude využito zkalibrovaného modelu, z kterého je možné získat potřebné výkony na vytápění v každé hodině během modelového roku. Aby bylo možné takový výpočet provést je nejdříve nutné pro každou hodnotu venkovních teplot stanovit teplotu přívodní vody dle ekvitermní regulace [16]. Poté budou z podkladů výrobce stanoveny rovnice popisující výkon tepelného čerpadla na základě venkovní teploty pro každé nastavení otáček kompresoru a teploty topné vody přiváděné do otopné soustavy tepelným čerpadlem. Na základě teploty přívodní vody dle ekvitermní regulace bude vybrán nejbližší vyšší topný výkon ze všech otáček kompresoru a odpovídající teplotě přívodní vody z tepelného čerpadla. Od těchto výkonů na vytápění budou odečteny topné výkony tepelného čerpadla a případné záporné rozdíly budou právě doplňkové výkony od záložního zdroje (bude uvažován zdroj na elektrickou energii – topná patrona). V tabulce č.16 jsou uvedeny roční příkony záložního zdroje a jeho podíl z celkové potřeby tepla

na vytápění při uvažování různých teplotních útlumů. Samotný výpočet je uveden na přiloženém DVD.

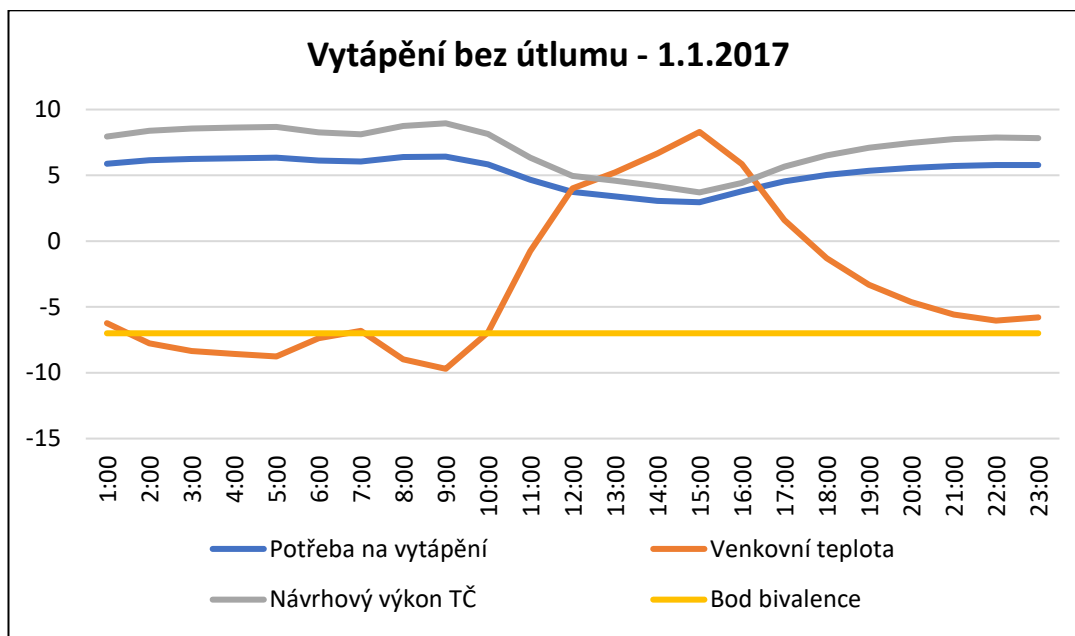
Tab. č. 16 – Roční příkon záložního zdroje při různých teplotních útlumech

Provozní [°C]	Útlum [°C]	Roční příkon zálohy [kWh]	Roční potřeba tepla [kWh]	Podíl záložního zdroje
20,5	20,5	4	11 420	0 %
20,5	20,0	13	10 870	0,1 %
20,5	19,5	30	10 440	0,3 %
20,5	18,5	118	10 222	1,2 %
20,5	17,5	273	9 631	2,8 %
20,5	16,5	463	9 457	4,9 %
20,5	15,5	611	9 376	6,5 %

Výše uvedené příkony záložního zdroje neposkytují zcela odpovídající hodnoty. Při jejich výpočtu vzniklo několik různých nepřesností, díky kterým nelze získat úplně přesné výsledky. V první řadě je nepřesnost už v samotném modelu viz. grafy č.3 a č.4 (kap. 4.5.8), kde je odchylka od chování skutečného stavu. Dalším problémem bylo vytvoření rovnice poskytující výkon tepelného čerpadla pro různé otáčky kompresoru na základě venkovní teploty, která byla vytvořena směrnicí trendu s věrohodností výsledků cca 94 %, tedy s chybou 6 %. Dalším z nedostatků je i nezohlednění hromadného dálkového ovládní, tedy přechod z nízkého tarifu na vysoký. Při tomto přechodu může dojít k vypnutí tepelného čerpadla až na 60 minut a vzrůstá tak spotřeba záložního zdroje. Uvedené chyby by však neměly znamenat velký problém a data by tak měla být s určitým nadhledem použitelná.

Z výše uvedené tabulky č.16 je možné zpozorovat, že není třeba doplňkový zdroj v případě vytápění bez útlumu, jelikož je potřeba na vytápění při venkovní teplotě pro teplotu bivalence o cca 30 % menší než dle vypočtených tepelných ztrát, což tepelné čerpadlo dokáže vytopit bez pomoci záložního zdroje, viz graf. č.8. Jelikož má tepelné čerpadlo poměrně velkou rezervu v topném výkonu a ani při -10 °C stále není potřeba provoz záložního zdroje, je možné použít nevyužitý potenciál výkonu k nastavení teplotního útlumu, který bude ekonomicky nejoptimálnější z hlediska provozních nákladů. Pro stanovení vhodného útlumu už chybí jen poslední neznámá, a tou je průměrný roční topný faktor tepelného čerpadla. Jeho stanovení bude na

základě průměrných hodnot z vypočtených dat výkonů tepelného čerpadla při stanovení spotřeby doplňkového zdroje.



Graf č.8 – Potřeba tepla na vytápění 1.1.2017

V tabulce č.17 jsou uvedeny průměrné hodnoty teplot přívodní vody, topných výkonů a venkovních teplot pro různé teplotní útlumy.

Tab. č. 17 – Tabulka průměrných hodnot pro různé teplotní útlumy

Útlum	Venkovní teplota [°C]	Teplota přívodní vody [°C]	Průměrný topný výkon [kW]	COP
20,5/20,5	2,7	33,0	8,09	3,5
20,5/20,0	2,7	32,8	8,03	3,5
20,5/19,5	2,3	32,8	7,93	3,5
20,5/18,5	1,7	32,3	7,84	3,5
20,5/17,5	1,6	32,9	7,99	3,5
20,5/16,5	2,1	32,7	8,33	3,5
20,5/15,5	2,5	32,7	8,61	3,5

Zajímavým faktem je, že topný faktor je pro všechny teplotní útlumy téměř stejný (hodnoty jsou zaokrouhleny). Je to dáno zejména tím, že při nižších útlumech jsou sice větší topné výkony při náběhových špičkách, ale v ostatních hodinách jsou naopak velmi nízké. Celková bilance výkonů a příkonů tepelného čerpadla včetně záložního zdroje je v tabulce č.18. Roční spotřeba je již se zahrnutím účinností distribuce a sdílení tepla  $\eta = 0,76$  (viz kap. 9.4.1).

Tab. č. 18 – Roční příkon na vytápění tepelným čerpadlem s teplotním útlumem

Útlum [°C]	Záloha [kWh]	Potřeba [kWh]	Výkon TČ [kWh]	Příkon TČ [kWh]	Roční spotřeba [kWh]
20,5/20,5	4	11 420	11 416	3 261	4 296
20,5/20,0	13	10 870	10 857	3 102	4 098
20,5/19,5	30	10 440	10 410	2 974	3 953
20,5/18,5	118	10 222	10 104	2 886	3 954
20,5/17,5	273	9 631	9 358	2 673	3 877
20,5/16,5	463	9 457	8 994	2 569	3 990
20,5/15,5	611	9 376	8 765	2 504	4 099

Pro uvažované tepelné čerpadlo je tak nejvhodnější provoz vytápění s teplotním útlumem 3 °C, kdy je nejnižší spotřeba (příkon) elektrické energie na vytápění. Pro kontrolu byla provedena simulace s celkovou účinností systému vytápění  $\eta_h = 2,42$  (dle kap. 9.4.1) pro provoz bez teplotního útlumu a celková spotřeba na vytápění tak vychází 4 527 kWh. Spotřeba z modelu vychází větší, jelikož uvedená účinnost počítá i s příkonem pro integrované oběhové čerpadlo.

Roční spotřeba tepelného čerpadla bude tedy uvažována pro 3 °C teplotní útlum, tedy 3 877 kWh. Jelikož výpočet neobsahoval spotřeby oběhového čerpadla a odmrazování výparníku tepelného čerpadla, tak bude spotřeba navýšena odhadnutou hodnotou o 10 % na hodnotu 4 264 kWh, čemuž odpovídá sezónní topný faktor tepelného čerpadla 2,9.

Navržené tepelné čerpadlo dimenzované na 70 % návrhové tepelné ztráty má vyšší topný výkon, než je výkon potřebný. Při návrhové venkovní teplotě -15 °C je průměrný potřebný výkon na vytápění 6,8 kW (vytápění bez útlumu), čemuž by odpovídalo tepelné čerpadlo dimenzované na topný výkon 4,8 kW, tedy na cca 50 % návrhové tepelné ztráty. Z poznatků, které dokázal přinést zkalibrovaný model, tak mohla být vyšší investice tepelného čerpadla vyplývající z výše uvedené analýzy alespoň částečně vyvážena nižšími provozními náklady při zavedení optimálního teplotního útlumu.

## 9.6 Spotřeby paliv a energií pro variantu č.2

### 9.6.1 Oběhové čerpadlo

Oběhové čerpadlo okruhu teplovodního vytápění bude uvažováno stejnou roční spotřebou jako u varianty č.1, tedy 137 kWh.

## 9.6.2 Celkové spotřeby energií pro všechny systémy

Tab. č. 19 – Dílčí spotřeby jednotlivých systémů

System a zařízení	Roční spotřeba [kWh]	Energonositel
Vytápění	4 264	Elektrická energie
Oběhové čerpadlo vytápění	137	Elektrická energie
Ohřev vzduchu VZT	205	Elektrická energie
Chlazení + chladič VZT	751	Elektrická energie
Ventilátory VZT	682	Elektrická energie
Příprava teplé vody	788	Elektrická energie
Zásuvky (kancelářské vybavení)	4 643	Elektrická energie
Osvětlení	1 315	Elektrická energie
Ostatní (výtah, reklama, žaluzie)	3 947	Elektrická energie

## 10 Varianta č.3 – Tepelné čerpadlo s reverzním chodem

### 10.1 Projektová dokumentace varianty č.3

U této varianty dochází ke spojení systémů topení a chlazení. Prvky pro sdílení tepla a chladu budou kapilární rohože instalované do omítky nebo budou součástí sádkartonového podhledu. Vzhledem k požadavku na použití potrubí, které nepodléhá korozi, bude tak opět použito potrubí z mědi [19]. Všechny ostatní komponenty (oběhová čerpadla, záložní zdroj, tepelné čerpadlo) budou v provedení nepodléhající korozi.

### 10.2 Výběr tepelného čerpadla vzduch/voda s reverzním chodem

Tepelné čerpadlo bude dimenzováno tak, aby pokrylo 100 % tepelné zátěže obytných místností a na základě velikosti vybraného čerpadla bude určeno pokrytí tepelné ztráty jeho topným výkonem a velikosti případného záložního zdroje. Teplotní spád pro vytápění bude 32/29 °C a pro chlazení 16/19 °C. V tabulce č.20 jsou uvedeny výkonově vyhovující tepelná čerpadla a mají k dispozici výkonové křivky pro různé teploty.

Tab. č.20 – Výběrová tabulka tepelných čerpadel s reverzním chodem

Tepelné čerpadlo vzduch/voda s reverzním chodem	Cena bez DPH	COP při -15 °C	EER při 35 °C
Vaillant aroTHERM VWL 85/2	113 000	2,52	3,43
Buderus WPLS 8.2	150 900	2,35	3,3
Stiebel Eltron WPL 13 cool	239 820	2,6	3,1

Opět při přihlédnutí k topnému a chladicímu faktoru a ceně, tak vychází nejlépe tepelné čerpadlo od firmy Vaillant. Uvažované tepelné čerpadlo je při návržení na 100 % chladicí výkon schopné zajistit topný výkon 6,3 kW, tedy 60 % z návrhové tepelné ztráty. Záložní zdroj a zabezpečovací zařízení otopné soustavy budou v rámci systémového modulu. Připojení tepelného čerpadla a hydraulického modulu bude stejné jako v případě varianty č.2, tedy přes malou taktovací nádobu.

### 10.3 Výkaz výměr pro variantu č.3

Z projektové dokumentace varianty č.3 (příloha č.5) byl sestaven výkaz výměr, který byl oceněn na základě ceníkových cen výrobců jednotlivých zařízení a prvků. Celkové pořizovací náklady pro tuto variantu činí 654 358 Kč.

### 10.4 Účinnost systémů vytápění a chlazení

Stejně tak jako u varianty č. 1 a č. 2 bude využita pro stanovení dílčích účinností využita norma ČSN 73 0331-1. Níže jsou uvedeny uvažované účinnosti systému vytápění a chlazení.

#### 10.4.1 Vytápění

##### Zdroj tepla – tepelné čerpadlo vzduch/voda

Pro stanovení sezónního faktoru tepelného čerpadla (SCOP) byla využita výpočetní pomůcka, která je uvedena v příloze č.5.

$$\eta_{h,gen} = SPF = 3,1$$

##### Distribuční soustava – teplovodní dvoutrubkový systém

$$\eta_{h,hw,dis} = \frac{Q_{h,nd} * f_{h,hw}}{Q_{h,nd} * f_{h,hw} + \eta_{h,em} * Q_{h,ls,dis,nrbl}}$$

$Q_{h,nd}$  – potřeba energie na vytápění (10 870 kWh)

$f_{h,hw}$  – podíl pokrytí potřeby energie teplovodním systémem

$\eta_{h,em}$  – účinnost sdílení energie na vytápění (0,86)

$Q_{h,ls,dis,nrbl}$  – teoretická nevyužitá ztráta tepla rozvodů [kWh]

$$Q_{h,ls,dis,nrbl} = 0,001 * q_{h,ls,dis,nrbl} * L_h * t_{h,hw,op}$$

$q_{h,ls,dis,nrbl}$  – měrná tepelná ztráta rozvodů [W/m]

$L_h$  – délka přívodního potrubí [m]

$t_{h,hw,op}$  – roční doba provozu systému [h]

Pro stanovení měrné tepelné ztráty rozvodů bude využit stejný postup jako u varianty č.1, tedy na základě průměrné venkovní teploty (5 °C) vychází střední teplota teplotonosné látky 26 °C (návrhový spád 32/29 °C) dle výpočetní pomůcky na serveru tzb-info.cz [16]. Pro tuto střední teplotu tak činí ztráta rozvodů 1,3 W/m dle ČSN 73 0331-1.

$$Q_{h,ls,dis,nrbl} = 0,001 * 1,3 * 171,5 * 5808 = 1294 \text{ kWh}$$

$$\eta_{h,hw,dis} = \frac{10\,870}{10\,870 + 0,86 * 1\,294} = 0,90$$

#### Sdílení energie – kapilární rohože

$$\eta_{h,em} = \frac{1}{4 - (\eta_{h,str,z} + \eta_{h,ctr,z} + \eta_{h,emb,z})}$$

$\eta_{h,em}$  – celková účinnost sdílení tepla

$\eta_{h,str,z}$  – dílčí účinnost vlivu svislého rozložení teplot (0,96)

$\eta_{h,ctr,z}$  – dílčí účinnost vlivem regulace (0,97)

$\eta_{h,emb,z}$  – dílčí účinnost vlivu specifických ztrát konstrukcí sousedící s venkovním prostředím (0,9)

$$\eta_{h,em} = \frac{1}{4 - (0,96 + 0,97 + 0,9)} = 0,86$$

#### Účinnost distribuce a sdílení tepla

$$\eta_h = \eta_{h,hw,dis} * \eta_{h,em}$$

$$\eta_h = 0,9 * 0,86 = 0,78$$

Tato hodnota účinnosti bude využita při ručním výpočtu ročních spotřeb na vytápění tepelným čerpadlem.

#### Účinnost celého systému vytápění

$$\eta_h = \eta_{h,gen} * \eta_{h,hw,dis} * \eta_{h,em}$$

$$\eta_h = 3,1 * 0,9 * 0,86 = 2,4$$

Tato hodnota účinnosti celého systému bude zadána do Designbuilderu pro zjištění ročních spotřeb bez útlumového vytápění.

### 10.4.2 Chlazení

#### Zdroj chladu – tepelné čerpadlo vzduch/voda

Hodnota bude převzata z podkladů tepelného čerpadla [18].



$$\eta_{c,gen} = EER = 3,4$$

Distribuční soustava – kapilární rohože

$$\eta_{c,dis} = 0,95$$

Sdílení energie – kapilární energie 16/19 °C

$$\eta_{c,em} = 1,0$$

Účinnost celého systému chlazení

$$\eta_h = \eta_{c,gen} * \eta_{c,dis} * \eta_{c,em,ahu}$$

$$\eta_h = 3,4 * 0,95 * 1,0 = 3,23$$

Výše uvedená hodnota účinnosti bude zadána do modelu v Designbuilderu pro zjištění celkových ročních spotřeb na chlazení.

### 10.5 Útlumový provoz varianty č.3

Jelikož je tepelné čerpadlo navrženo pouze na 60 % tepelné ztráty a k přihlídnutí poznatkům z kap. 9.5, tak bude tepelné čerpadlo provozováno bez teplotního útlumu. Nastavení vytápění bez útlumu je i vhodné z důvodu použití kapilárních rohoží, jelikož tento systém má velmi pomalou dynamiku náběhu teplot, jenž je způsobena malou konvekční složkou od sálavého vytápění a malým rozdílem teplot mezi otopnou vodou a vzduchem v místnosti. Pro získání celkových ročních spotřeb bude využit stejný postup jako v případě varianty č.2, tedy ruční výpočet výkonu tepelného čerpadla v hodinovém kroku v závislosti na venkovní teplotě a aktuální potřebě tepla. Výsledky pro provozní nastavení 20,5/20,5 °C jsou zobrazeny v tabulce č.21.

Tab. č.21 – Bilance tepelného čerpadla pro variantu č.3

Roční spotřeba tepla [kWh]	Průměrná venkovní teplota [°C]	Průměrná teplota přívodní vody [°C]	Průměrný výkon TČ [kW]	Spotřeba doplňkového zdroje [kWh]
11 420	2,9	26,4	4,3	24

Pro výše uvedené průměrné hodnoty provozu tepelného čerpadla vychází topný faktor dle podkladů výrobce 3,8 a z toho je dopočtena celková roční spotřeba včetně uvažování účinností pro distribuci a emise tepla ( $\eta = 0,78$ ), viz tabulka č.22.

Tab. č.22 – Roční příkon na vytápění tepelným čerpadlem

Útlum [°C]	Záloha [kWh]	Potřeba [kWh]	Výkon TČ [kWh]	Příkon TČ [kWh]	Roční spotřeba [kWh]
20,5/20,5	24	11 420	11 396	2 975	3 845

Výsledná roční spotřeba bude stejně jako v případě varianty č.2 navýšena o 10 % pro započtení spotřeby oběhového čerpadla a zahrnutí vlivu odmrazování výparníku tepla. Celková hodnota roční spotřeby tak činí 4 230 kWh pro kterou vychází sezonní topný faktor 3,5. Při využití vypočteného topného faktoru tepelného čerpadla dle výpočetní pomůcky včetně účinnosti systému ( $\eta_h = 2,4$ ), tak vychází spotřeba dle Designbuilderu 4 654 kWh. Vypočtené hodnoty různými metodami se liší o méně jak 9 %, což představuje poměrně slušný výsledek. Jako konečná hodnota spotřeby na vytápění pro variantu č.3 bude použita hodnota vypočtená ručním výpočtem, tedy 4 230 kWh. Původní predikce, že bude mít varianta č.3 nejmenší provozní náklady na vytápění tak byla správná, nicméně výsledný rozdíl je 34 kWh oproti variantě č.2, což je daleko za očekáváním. I když má varianta č.3 mnohem nižší teplotu přírodní vody než varianta č.2, tak navržené tepelné čerpadlo nemá takovou rezervu v topném výkonu vůči skutečným potřebám tepla jako v případě předešlé varianty.

## 10.6 Spotřeby paliv a energií pro variantu č.3

### 10.6.1 Oběhové čerpadlo

Pro stanovení ročních nákladů bude opět využita norma ČSN 73 0331-1. Průměrný elektrický příkon oběhového čerpadla byl stanoven hodnotou 57,6 W odpovídající otopné soustavě s podlahovým vytápěním (podobný systém jako s kapilárními rohožemi). Celkový počet hodin topné sezóny je 5 808 hodin z čehož je roční příkon oběhového čerpadla 335 kWh.

### 10.6.2 Celkové spotřeby energií pro všechny systémy

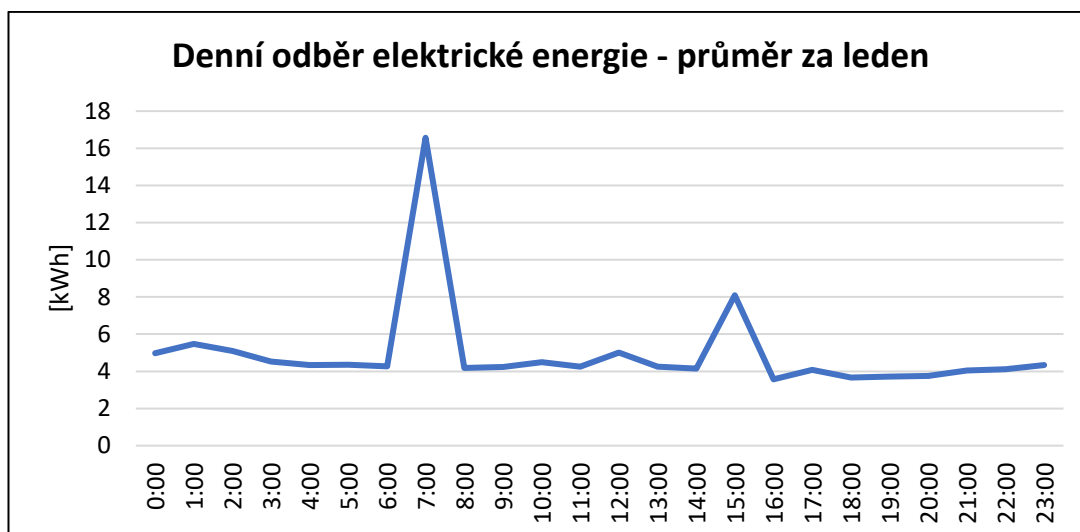
Tab. č.23 – Dílčí spotřeby jednotlivých systémů

Systém a zařízení	Roční spotřeba [kWh]	Energonositel
Vytápění	4 230	Elektrická energie
Oběhové čerpadlo vytápění	335	Elektrická energie
Ohřev vzduchu VZT	205	Elektrická energie
Chlazení + chladič VZT	815	Elektrická energie
Ventilátory VZT	682	Elektrická energie
Příprava teplé vody	788	Elektrická energie
Zásuvky (kancelářské vybavení)	4 643	Elektrická energie
Osvětlení	1 315	Elektrická energie
Ostatní (výtah, reklama, žaluzie)	3 947	Elektrická energie

## **11 Srovnání jednotlivých variant z ekonomického hlediska**

### **11.1 Cena za roční odebrané energie a paliva**

Pro stanovení ročních nákladů na energie a paliva bude využita online výpočetní pomůcka kalkulátor.tzb-info.cz. V rámci řešených variant je nutné uvažovat různé sazby za elektrickou energii. V případě varianty č.1 (plynový kotel) bude odběr elektrické energie pouze ve vysokém tarifu (VT) se sazbou C02D, vyjma ohřevu teplé vody v akumulčních zásobnících, pro které bude použita sazba C25D. Ohřev teplé vody bude pouze v nízkém tarifu. U původní varianty (elektrické přímotopy) bude použita dvoutarifová sazba C46D s dobou nízkého tarifu (NT) 20 hodin. Poměr odběru z vysokého a nízkého tarifu bude určen zjednodušeně na základě grafu č.9, kde je uveden průměrný odběr elektrické energie v průběhu dne za měsíc leden. Podle podmínek sazby C46D je maximální souvislá doba vysokého tarifu 60 minut a mezi dalším přepnutím na vysoký tarif musí být minimálně jedna hodina. Vysoký tarif bude uvažován 1 hodinu v ranní odběrové špičce a 1 hodinu v odpolední špičce a zbývající 2 hodiny v běžném odběru. Celkově je tak spotřeba pro 4 hodiny ve vysokém tarifu vůči celkové spotřebě v poměru 0,19. V případě uvažování FVE bude veškerá spotřeba v nízkém tarifu, jelikož budova bude v době vysokého tarifu (VT) čerpat z bateriového úložiště. Do sazby pro přímotopné vytápění C46D nelze zahrnout spotřebu pro přípravu teplé vody, proto bude mít vlastní sazbu C25D. Pro varianty č.2 a č.3 budou použity dvoutarifní sazby C56D pro vytápění tepelnými čerpadly s dobou nízkého tarifu 22 hodin [20]. Spotřeba v nízkém a ve vysokém tarifu bude opět určena na základě grafu č.9. Podle podmínek sazby C56D je maximální souvislá doba vysokého tarifu 1 hodina a mezi dalším přepnutím na vysoký tarif musí být minimálně 1 hodina. Celkově je tak spotřeba pro 2 hodiny vysokého tarifu (1 hodina v ranní špičce a 1 hodina v odpolední špičce) vůči celkové spotřebě 0,13. Uvedený postup stanovení poměrů spotřeb v jednotlivých tarifech je tak na straně bezpečnosti, avšak v rámci hodnocení stávajícího stavu to nebude mít žádný vliv, jelikož je odběr uvažován pouze v nízkém tarifu.



Graf č.9 – Průběh odběru elektrické energie v průběhu dne

Celkové roční náklady na jednotlivé energie a paliva jsou uvedeny v tabulce č.24, kde jako dodavatel elektrické energie byla zvolena firma Energie na druhou [21] a pro dodávku plynu firma Centropol energy [22].

Tab. č.24 – Celkové ceny za energie a paliva bez DPH

Varianta	Energie / palivo	Tarif	Spotřeba EL [kWh]		Celkem [Kč/rok]
			VT	NT	
Původní varianta bez FVE	El. energie	C46D	4 165	17 755	64 893
Původní varianta s FVE	El. energie	C46D	-	17 417	45 067
Varianta č.1	Plyn	-	-	-	14 979
Varianta č.1	El. energie	C02D	11 910	-	48 936
Varianta č.2	El. energie	C56D	2 175	14 553	43 343
Varianta č.3	El. energie	C56D	2 205	14 755	43 806
Ohřev teplé vody	El. energie	C25D	-	788	5 290

[Ceny převzaty z: <https://kalkulator.tzb-info.cz/>]

## 11.2 Náklady na provoz a údržbu

Tyto náklady budou stanoveny procentuálním podílem z investičních nákladů uvedených v normě ČSN EN 15 459 [23]:

- Kondenzační kotel, tepelné čerpadlo – 2%
- Oběhové čerpadlo – 2 %
- Desková otopná tělesa, kapilární rohože – 2 %
- Vzduchotechnika, chladicí kompresory – 2 %
- Fotovoltaická elektrárna – 0,5 %

Z uvedených hodnot byly dopočteny roční náklady na údržbu a provoz. Náklady pro jednotlivé varianty jsou uvedeny v tabulce č.25.

Tab. č.25 – Provozní náklady na údržbu a servis

Varianta	Roční náklady [Kč/rok]
Původní varianta bez FVE	5 339
Původní varianta s FVE	9 783
Varianta č. 1	4 185
Varianta č. 2	10 660
Varianta č. 3	13 087

### 11.3 Výpočet celkových nákladů pro jednotlivé varianty

Pro srovnání jednotlivých variant je možné použít několik metod. Mezi nejzákladnější a nejjednodušší patří prostá doba návratnosti neboli metoda, která zohledňuje investiční a provozní náklady, ale již nereflektuje vývoj tržní hodnoty peněz v čase. Dalším možným způsobem je využití metodiky podle Vyhlášky č.480/2012, která využívá pro hodnocení čistou současnou hodnotu, tedy zahrnutí změny tržní hodnoty peněz v čase. Nejvhodnějším postupem bude užití normy ČSN EN 15 459, která zohledňuje kromě vývoje ceny i odpisování zbývající doby obnovovaných prvků.

Jelikož se jedná o administrativní budovu bude doba hodnocení 20 let. Za tuto dobu tak bude nutné vyměnit jen tepelná čerpadla, které mají uvažovanou živostnost 15 let [23]. Ostatní prvky soustav navržených variant budou uvažovány bez obměny po dobu výpočtového období. Jak již bylo zmíněno, tak součástí kalkulace nebudou náklady, které jsou stejné pro všechny varianty (VZT, TV, projektové dokumentace apod.).

### 11.4 Metodika výpočtu celkových nákladů dle ČSN EN 15 459

#### 11.4.1 Výpočet koncové hodnoty obnovovaných prvků

Při výměně tepelných čerpadel však nebudou jejich obnovovací náklady plně využity až do konce výpočtového období, proto se zohlední jejich investice na konci výpočtového období lineárním odpisováním dle vztahu:

$$VAL_{FIN} = V_0 * \left(1 + \frac{RAT_{PR}}{100}\right)^{n*LS} * R_{d(t)} * \left(\frac{t_{TC} - n * LS}{LS}\right)$$

$$R_{d(i)} = \left(\frac{1}{1 + \frac{RAT_{DISC}}{100}}\right)^i$$

$$RAT_{DISC} = \frac{R - R_i}{1 + \frac{R_i}{100}}$$

$VAL_{FIN}$  – poslední obnovovací náklady včetně vývoje ceny za výrobky

$V_0$  – investiční náklady v roce 0 [Kč]

$RAT_{DISC}$  – diskontní sazba

$RAT_{PR}$  – míra vývoje ceny zařízení – 1 % dle ČSN EN 15 459

$R$  – tržní úroková sazba – 4 %

$R_i$  – míra inflace – 2,5 % [24]

$LS$  – doba životnosti prvku

$i$  – počet roků

$n$  – počet výměn prvků

#### 11.4.2 Výpočet celkových nákladů

Výpočet zahrnuje veškeré náklady v průběhu hodnoceného období kromě nákladů na měření CO<sub>2</sub>, u kterých nebyla zjištěna jejich hodnota nákladů. Náklady na likvidaci (demontáž) nejsou v normě pro uvažované prvky uvedeny. Celkové náklady se vypočtou dle následujícího vztahu:

$$CG = CO_{INIT} + \sum \left( \sum \left( CO_{A(i)} * \left( 1 + RAT_{XX(i)} \right) \right) * R_{d(i)} - VAL_{FIN} \right)$$

$CG$  – celkové náklady (vztažené k počátečnímu roku)

$CO_{INIT}$  – vstupní investiční náklady

$CO_A$  – roční náklady za zařízení, energie, servis a výměny zařízení

$RAT_{XX}$  – míra vývoje cen pro zařízení, energie a servis – 0,025 (dle inflace)

$VAL_{FIN}$  – zůstatková hodnota prvku po výměně na konci výpočtového období

#### 11.5 Srovnání jednotlivých variant podle celkových nákladů

Nyní bude provedeno srovnání jednotlivých variant z ekonomického hlediska pouze podle celkových nákladů za výpočtové období 20 let. V běžné praxi však může být i požadavek na výši investice kvůli omezeným zdrojům investora, nebo je naopak přání na co nejnižší náklady průběhu životnosti stavby bez ohledu na výši investice. Vypočtené celkové náklady ani nebudou odpovídat skutečnosti, jelikož je cena vztažená k počátečnímu roku (tržní hodnota peněz klesá), avšak v rámci porovnání to nebude mít žádný vliv, protože pro každou variantu je použit stejný postup výpočtu. Roční a celkové náklady pro jednotlivé varianty jsou uvedeny v tabulce č.26.

Tab. č.26 – Roční a celkové náklady pro jednotlivé varianty

Rok	Stávající stav s FVE	Varianta č.1	Varianta č.2	Varianta č.3
0	1 155 676	209 125	533 031	654 358
1	1 216 430	283 265	587 586	711 772
2	1 276 309	356 335	641 354	768 357
3	1 335 323	428 352	694 346	824 127
4	1 393 486	499 330	746 574	879 092
5	1 450 811	569 284	798 049	933 264
6	1 507 309	638 229	848 781	986 655
7	1 562 991	706 180	898 782	1 039 276
8	1 617 871	773 150	948 061	1 091 138
9	1 671 959	839 155	996 630	1 142 252
10	1 725 267	904 208	1 044 498	1 192 628
11	1 777 806	968 323	1 091 676	1 242 278
12	1 829 588	1 031 512	1 138 173	1 291 212
13	1 880 622	1 093 791	1 184 000	1 339 441
14	1 930 921	1 155 171	1 229 166	1 386 973
15	1 980 494	1 215 666	1 403 176	1 526 965
16	2 029 352	1 275 288	1 447 049	1 573 137
17	2 077 505	1 334 051	1 490 288	1 618 642
18	2 124 964	1 391 966	1 532 904	1 663 491
19	2 171 738	1 449 045	1 574 905	1 707 694
20	<b>2 217 838</b>	<b>1 505 301</b>	<b>1 559 582</b>	<b>1 710 462</b>

Z výsledků tak vyplývá, že na konci výpočtového období ekonomicky nejlépe vychází vytápění plynovým kondenzačním kotlem a chlazení větracím vzduchem, díky čemuž má tato varianta nejnižší investiční náklady a též i nejnižší celkové náklady po 20 letech provozu budovy. Jako druhé ekonomicky nejpříznivější řešení je vytápění tepelným čerpadlem s chlazením multi-split systémem. Navzdory tomu, že má tato varianta dvoutarifní sazbu na elektrickou energii a tím i nižší náklady na uživatelské spotřeby elektrické energie (zásuvky, osvětlení), tak uvažovaná výměna tepelného čerpadla na konci životnosti výrazně zvýšila celkové náklady. Varianta s tepelným čerpadlem a kapilárními rohožemi je z hlediska ročních nákladů téměř stejná jako varianta č.2, avšak má vyšší investiční náklady. Spojení funkce topení a chlazení do jednoho systému tak přineslo výrazné prodražení kvůli vysokým cenám za kapilární rohože, přičemž záměr byl spíše opačný. Nejnákladnější

variantou z hlediska celkových nákladů je tak stávající stav s hybridní fotovoltaickou elektrárnou, která má nejvyšší investiční a provozní náklady oproti ostatním variantám. Hybridní fotovoltaická elektrárna tak sice dokáže efektivně spolupracovat s distribuční soustavou tak, aby nedocházelo k jejímu přetížení při výrobě elektrické energie fotovoltaickými panely a zároveň bylo dosaženo nepřerušené dodávky elektrické energie v budově v případě nedostatečného výkonu distribuční soustavy, ale je to na úkor vysokých nákladů ze strany investora. Vlastní výroba elektrické energie a možnost využívat pouze nízký tarif (při optimálním řízení baterií) se vzhledem k výši investice v porovnání s ostatními variantami z ekonomického hlediska nevyplácí.

Nicméně v posledních letech bylo možné na fotovoltaický systém získat dotaci z programu „Úspory energie – Fotovoltaické systémy s/bez akumulace pro vlastní spotřebu“ nabízeným Ministerstvem průmyslu a obchodu, kde nejvyšší příspěvek na obnovitelné zdroje činil maximálně 80 % ze způsobilých výdajů pro malé firmy [25]. Pokud by stávající systém měl mít celkové náklady alespoň jako varianta č.3, musela by dotace pokrývat 55 % investičních nákladů na pořízení hybridní fotovoltaické elektrárny a v případě nákladů varianty č.1 by musela být dotace alespoň 83 %. Aby však dotace byla přiznána, tak dle pravidel poslední výzvy Ministerstva průmyslu a obchodu musí být objekt již realizován a nelze tak získat dotaci při výstavbě budovy [25]. Bylo by tak nejdříve nutné budovu postavit bez fotovoltaické elektrárny a poté zažádat o dotaci na její dodatečnou instalaci. Protože má budova velmi kvalitní obálku a tím i nízkou spotřebu a jedná se o administrativní budovu, tak je z hlediska požadavků na budovy s téměř nulovou spotřebou energie možné využívat pro vytápění pouze elektrickou energii bez obnovitelných zdrojů [26].

#### **11.5.1 Výpočet skutečné výše dotace na fotovoltaickou elektrárnu**

Pro stanovení výše dotace je nutné nejdříve určit velikost podniku dle Nařízení komise (EU) č. 651/2014. Velikost podniku se stanovuje na základě počtu zaměstnanců a ročního obrátu. Pro účely práce bude však vhodnější uvést výši dotace pro všechny typy podniků a obecně tak říci pro jaké podniky je stávající koncept z ekonomického hlediska vhodný. Dotace se počítá ze způsobilých výdajů, které se stanovují na základě rozdílu investičních nákladů



obnovitelného zdroje a referenčního bloku výroby elektrické energie. V praxi to znamená, že je dotován jen přínos obnovitelného zdroje, jelikož referenční blok představuje méně ekologický zdroj, který by byl instalován v případě neposkytnutí dotace. Způsobilé výdaje se vypočítají následovně [27]:

$$ZV = IN_{OZE} - n_{IR} * \frac{W_{OZE} * 1000 * (1 - \varphi_{OZE})}{T_{MR} * (1 - \varphi_S)}$$

ZV – způsobilé výdaje [Kč]

IN<sub>OZE</sub> – celkové investiční náklady na OZE včetně baterií [Kč]

n<sub>IR</sub> – měrné investiční náklady referenčního zdroje [49 613 Kč/kW]

W<sub>OZE</sub> – roční výroba elektrické energie z OZE = 7,085 MWh/rok

T<sub>MR</sub> – maximální doba využití referenčního zdroje [6000 h]

φ<sub>S</sub> – vlastní spotřeba referenčního zdroje (0,067)

φ<sub>OZE</sub> – vlastní spotřeba OZE (spotřeba HFVE / výroba = 0,364)

Výše dotace se pak vypočte vynásobením způsobilých výdajů příslušným podílem podpory odpovídající velikosti podniku. Pro malý podnik byla dotace poskytována maximálně do výše 80 % ze způsobilých výdajů, pro střední podnik 70 % a pro velký podnik 60 % [25]. Pro jednotlivé velikosti podniků je celková výše dotace uvedena v tabulce č.27. Na administrativní dokumenty (energetický posudek, rozpočty apod.) je též poskytována dotace a náklady mohou být maximálně 2 % ze způsobilých výdajů investice a touto hodnotou budou uvažovány i náklady pro řešený objekt (16 975 Kč). Investice do FVE elektrárny včetně započtení dotace bude uvažována po 2 letech provozu, jelikož je nutné k žádosti o dotaci přiložit spotřebu objektu za posledních 12 měsíců. První 2 roky provozu budou s většími provozními náklady, jelikož je v budově pouze elektrické vytápění. Výpočet celkových nákladů v průběhu výpočtového období pro různé velikosti podniku jsou uvedeny v tabulce č.28.

Tab. č.27 – Výše dotace pro různé velikosti podniků

Velikost podniku	Investice [Kč]	Způsobilé výdaje [Kč]	Dotace	Náklady na projekt [Kč]	Investice po dotaci [Kč]
Malý	888 689	848 754	80 %	3 395	209 686
Střední	888 689	848 754	70 %	5 093	294 562
Velký	888 689	848 754	60 %	6 790	379 437

Tab. č.28 – Celkové náklady stávajícího systému pro různé výše dotace

Rok	Malý podnik	Střední podnik	Velký podnik
0	266 987	266 987	266 987
1	347 770	347 770	347 770
2	639 541	725 738	811 933
3	698 556	784 753	870 948
4	756 719	842 916	929 111
5	814 043	900 240	986 435
6	870 541	956 738	1 042 933
7	926 224	1 012 421	1 098 616
8	981 103	1 067 300	1 153 496
9	1 035 192	1 121 389	1 207 584
10	1 088 500	1 174 697	1 260 892
11	1 141 039	1 227 236	1 313 431
12	1 192 820	1 279 017	1 365 212
13	1 243 855	1 330 052	1 416 247
14	1 294 153	1 380 350	1 466 545
15	1 343 726	1 429 923	1 516 118
16	1 392 584	1 478 781	1 564 976
17	1 440 737	1 526 934	1 613 130
18	1 488 196	1 574 393	1 660 588
19	1 534 971	1 621 168	1 707 363
20	<b>1 581 070</b>	<b>1 667 267</b>	<b>1 753 462</b>

Pokud by tedy bylo zvoleno řešení nejdříve postavit objekt bez hybridní fotovoltaické elektrárny a poté by se zažádalo o dotaci na její dodatečnou instalaci, tak se stávající systém dostává do rozpětí celkových nákladů navrhovaných alternativních variant. Pro malý a střední podnik vychází ekonomicky příznivěji varianty č.1 a č.2 a pro velký podnik by se instalovat hybridní fotovoltaickou elektrárnu ekonomicky nevyplatilo. Malý podnik je dle Nařízení komise (EU) č. 651/2014 definován jako podnik, který zaměstnává maximálně 49 osob a jeho roční obrat nepřesahuje 10 milionů EUR. Střední podnik má maximálně 249 zaměstnanců a roční obrat nepřesahuje 50 milionů EUR [28]. Obecně se tak dá říci, že i přes poskytnutí dotací na hybridní fotovoltaickou elektrárnu pro řešený objekt, tak z hlediska celkových nákladů

je možné instalovat ekonomicky příznivější varianty bez ohledu na velikost podniku. Dále získání dotace je závislé na počtu žadatelů, finanční kapacitě dotačního programu a na bodovém hodnocení dotovaného úsporného opatření, proto nemusí být dotace vždy poskytnuta.

## 12 Srovnání jednotlivých variant z ekologického hlediska

Vliv systému na životní prostředí je dalším důležitým kritériem, jelikož téměř každý technický systém přímo či nepřímo spotřebovává při provozu neobnovitelné přírodní zdroje a zároveň produkuje znečišťující látky, které mají negativní vliv na životní prostředí. V zájmu dlouhodobé udržitelnosti je tak nutné volit systémy, které mají minimální vliv na životní prostředí. Proto každá varianta včetně stávajícího systému budou vzájemně porovnány jak z hlediska spotřebované neobnovitelné primární energie, tak i z hlediska produkce znečišťujících látek. Pro výpočet bude využita Vyhláška č. 480/2012 a Vyhláška č. 78/2013.

### 12.1 Výpočet neobnovitelné primární energie

Pro výpočet bude využita výše zmíněná Vyhláška č. 78/2013, ze které budou převzaty faktory neobnovitelné primární energie, které budou vynásobeny příslušnou spotřebou. Do výpočtu bude zahrnuta i uživatelská spotřeba (zásuvkové spotřebiče, výtah apod.), jelikož pokud by nebyly brány v úvahu, tak by se nadhodnotil přínos hybridní fotovoltaické elektrárny, protože právě v letních měsících je nejvyšší využití vyrobené energie na provoz zásuvkových spotřebičů. V zásadě jsou pouze dva energonositele, a to elektrická energie a zemní plyn. Faktor neobnovitelné primární energie pro elektrickou energii je 3,0 a pro zemní plyn je 1,1 [29]. Pro jednotlivé varianty jsou hodnoty neobnovitelné primární energie uvedeny v tabulce č.29.

Tab. č.29 – Neobnovitelná primární energie uvažovaných variant

<b>Energie / palivo</b>	<b>Stáv. stav [MWh/rok]</b>	<b>Varianta č.1 [MWh/rok]</b>	<b>Varianta č.2 [MWh/rok]</b>	<b>Varianta č.3 [MWh/rok]</b>
Elektřina	54,6	38,1	50,2	50,9
Zemní plyn	-	15,6	-	-
<b>Celkem</b>	<b>54,6</b>	<b>53,7</b>	<b>50,2</b>	<b>50,9</b>

Výsledné hodnoty neobnovitelných primárních energií pro jednotlivé varianty se o mnoho neliší, nicméně z tohoto hlediska jsou jako nejšetrnější varianty s tepelnými čerpadly s teplovodními otopnými plochami a po nich následuje systém s kondenzačním kotlem. Jako nejméně ekologická varianta vychází vytápění elektrickými sálavými systémy s podporou hybridní fotovoltaické elektrárny. Každá varianta však svým způsobem nabízí snížení podílu elektrické energie na provozu objektu, jejíž výroba je v současné době z hlediska neobnovitelných zdrojů nejnáročnější. Pokud by bylo instalováno pouze vytápění elektrickou energií bez obnovitelných zdrojů, tak je celková neobnovitelná primární energie 68,2 MWh/rok, což činí téměř o 25 % více oproti nejhorší variantě. Z tohoto hlediska by se tedy měl podíl elektrické energie v budovách snižovat v rámci všech systémů techniky prostředí a tím tedy snižovat negativní vliv budov na životní prostředí.

## 12.2 Výpočet znečišťujících látek a emisí oxidu uhličitého

Pro výpočet bude použita Vyhláška č. 480/2012, ve které jsou uvedeny emisní faktory znečišťujících látek a oxidu uhličitého. V rámci komplexního hodnocení budou do výpočtu započteny všechny spotřeby, protože jenom tak je možné započíst vliv vyrobené energie z fotovoltaické elektrárny. Oproti metodice vyhlášky tak budou uvažovány kromě vytápění i ostatní systémy, které se běžně neuvažují. Emisní faktory znečišťujících látek pro elektrickou energii budou převzaty přímo z vyhlášky [30], zatímco pro zemní plyn bude využít Věstník Ministerstva životního prostředí [31], viz tabulky č.30 a č.31. Emisní faktor oxidu uhličitého pro elektrickou energii bude uvažován hodnotou 281 kg/GJ a pro zemní plyn 55,4 kg/GJ dle vyhlášky [30]. Celkové hodnoty produkce znečišťujících látek a oxidu uhličitého pro jednotlivé varianty jsou uvedeny v tabulkách č.32 a č.33.

Tab. č.30 – Emisní faktory znečišťujících látek pro elektrickou energii [kg/MWh]

TZL	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>	VOC	CO
0,0368	-	0,02208	0,84124	0,56764	0	0,00249	0,0862

Tab. č.31 – Emisní faktory znečišťujících látek pro zemní plyn [kg/10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>]

TZL	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>	VOC	CO
6,9	6,9	6,9	0,032	595	-	-	62,1

Tab. č.32 – Hodnoty emisí znečišťujících látek pro jednotlivé varianty

Parametr	Stáv. stav [kg/rok]	Varianta č.1 [kg/rok]	Varianta č.2 [kg/rok]	Varianta č.3 [kg/rok]
TZL	0,67	0,48	0,62	0,62
PM <sub>10</sub>	0,00	0,01	0,00	0,00
PM <sub>2,5</sub>	0,40	0,29	0,37	0,37
SO <sub>2</sub>	15,31	10,68	14,08	14,27
NO <sub>x</sub>	10,33	8,17	9,50	9,63
NH <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00
VOC	0,05	0,03	0,04	0,04
CO	1,57	1,19	1,44	1,46
<b>CELKEM</b>	<b>28,34</b>	<b>20,86</b>	<b>26,04</b>	<b>26,40</b>

Tab. č.33 – Emise oxidu uhličitého pro jednotlivé varianty

Parametr	Stáv. stav [kg/rok]	Varianta č.1 [kg/rok]	Varianta č.2 [kg/rok]	Varianta č.3 [kg/rok]
CO <sub>2</sub>	18 416	15 668	16 925	17 155

Výsledné roční hodnoty pro emise znečišťujících látek a oxidu uhličitého vychází nejlépe pro variantu vytápění plynovým kondenzačním kotlem, jenž má nejmenší podíl elektrické energie na provozu budovy. Poté následují varianty s tepelnými čerpadly s teplovodními systémy a jako nejméně ekologická varianta je stávající systém s elektrickým vytápěním a hybridní fotovoltaickou elektrárnou. Stejně jako v případě neobnovitelné primární energie je nutné v rámci životního prostředí snižovat podíl elektrické energie v budovách, která má nejvyšší emisní faktory znečišťujících látek a oxidu uhličitého.

### 13 Multikriteriální vyhodnocení navržených variant

V předchozích kapitolách byly jednotlivé varianty mezi sebou porovnány v rámci ekonomických a ekologických aspektů. Každá varianta má svým způsobem své výhody a nevýhody, a proto je nutné je v rámci různých kritérií vzít v potaz. Ke každému kritériu bude přiřazena váha důležitosti, díky které bude možné provést multikriteriální hodnocení řešených variant. Přehled uvažovaných kritérií a pro ně zvolené váhy důležitosti jsou uvedeny v tabulce č.34.

Tab. č.34 – Hodnocená kritéria a jejich důležitost

Kritérium	Váha důležitosti
Investiční náklady	5
Celkové náklady	4
Neobnovitelná primární energie	4
Emise znečišťujících látek a oxidu uhličitého	3
Dosažení kvality vnitřního prostředí	3

Investiční náklady mají nejvyšší důležitost, jelikož od výše investice se odvíjí technologie a kvalita technických systémů, a tím i jejich provozní náklady a vliv na životní prostředí. S investičními náklady jsou spojeny i jiné náklady, které v této práci nebyly uvažovány, a to úroky a daně, díky kterým narůstají náklady s rostoucí výší investice. Z tohoto hlediska je tedy vhodné minimalizovat investiční náklady, jelikož ne každý investor disponuje dostatečným množstvím finančních prostředků, aniž by musel žádat o úvěr. Nicméně velmi to záleží na preferencích a možnostech investora, avšak obecně je jako v běžném životě velký důraz na co nejnižší pořizovací cenu. Samozřejmě je cílem za co nejnižší investiční náklady pořídit provozně nejekonomičtější a nejekologičtější řešení. Z tohoto důvodu mají celkové náklady a neobnovitelná primární energie druhou nejvyšší váhu důležitosti. Celkové náklady slouží jako podklad pro investora, zdali je projekt dlouhodobě ekonomicky přijatelný a neobnovitelná primární energie je omezena legislativními předpisy. Emise znečišťujících látek a oxidu uhličitého v případě budov nejsou tak často používaným kritériem, nicméně jejich vliv je na kvalitu venkovního ovzduší zásadní. Snižování emisí by však mělo být řešeno hlavně ze strany výrobců jednotlivých zařízení a následně až technickým řešením ze strany projektanta. Z tohoto důvodu bude mít toto kritérium nejmenší váhu v rámci uvažovaných kritérií. Posledním kritériem je dosažení kvality vnitřního prostředí, kde se zásadně jedná pouze o tepelný komfort. Požadavky na vnitřní mikroklima jsou předepsané legislativními a normovými dokumenty, proto bude toto kritérium též hodnoceno nejmenší vahou. Rozpětí vah důležitosti je voleno s určitou rezervou vůči jiným, avšak neuvažovaným kritériím jako např. proveditelnost a zásah do budovy, které by měly ještě menší váhu důležitosti než uvažovaná kritéria. Samotné multikriteriální

vyhodnocení bude spočívat ve výpočtu bodového hodnocení za dosažené umístění v rámci jednotlivých kritérií pro jednotlivé varianty. Nejlepší varianta v příslušném kritériu bude mít nejvyšší bodové hodnocení a z multikriteriálního hlediska bude nejlepší varianta s nejvyšším počtem bodů. Přehled bodového hodnocení je uvedeno v tabulce č.35.

Tab. č.35 – Bodové hodnocení jednotlivých variant

Kritérium	Stávající stav	Varianta č.1	Varianta č.2	Varianta č.3
Investiční náklady (5)	1	4	3	2
Celkové náklady (4)	1	4	3	2
Neobnovitelná primární energie (4)	1	2	4	3
Emise znečišťujících látek a oxidu uhličitého (3)	1	4	3	2
Dosažení kvality vnitřního prostředí (3)	4	1	3	2
<b>VÁHA*BODY</b>	<b>28</b>	<b>59</b>	<b>61</b>	<b>42</b>

Všechna kritéria až na dosažení kvality vnitřního prostředí vychází z vypočtených hodnot, které byly již porovnávány v rámci předchozích kapitol. Poslední kritérium je hodnoceno na základě výhod a nevýhod jednotlivých systémů. Dále z ekonomického hlediska po přiznání dotace vychází lépe stávající stav než varianta č.3, nicméně dotace se proplácí zpětně, a proto pro pořízení hybridní fotovoltaické elektrárny je nutné si vzít větší úvěr a tím platit i větší splátky s úroky, na které se dotace nevztahuje. Vypisování dotačních programů je velmi nepravidelné a samotné přiznání dotace není vůbec zaručeno. Z těchto důvodů byla stávající varianta v rámci těchto kritérií hodnocena jako nejhorší. Ze samotných výsledků celkových bodů je vidět umístění jednotlivých variant, které je komentováno v následujících kapitolách.

### 13.1 Vyhodnocení varianty č.1

Varianta vytápění plynovým kotlem a chlazení přívodního čerstvého vzduchu obdržela druhý nejvyšší počet bodů. Velmi silnou stránkou této varianty jsou nejnižší pořizovací a celkové náklady a možnost nastavení poměrně vysokého teplotního útlumu (4 °C). I z hlediska produkce emisí se jedná o nejšetrnější variantu. Nicméně má poměrně vysoké provozní náklady a spotřebu neobnovitelné primární energie z důvodu nejnižší účinnosti otopné

soustavy. Dalším problémem je řešení způsobu chlazení, které nedokáže zajistit tepelný komfort a zónově zajišťovat různé požadavky na chlazení. Pokud by u této varianty byl změněn systém chlazení na multi-split, tak by již sice byly zajištěny požadavky na tepelný komfort, ale výrazně by se zvýšily investiční náklady a varianta by už tak nebyla ekonomicky nejpříznivější.

### **13.2 Vyhodnocení varianty č.2**

Tato varianta obdržela nejvyšší počet bodů. Vytápění tepelným čerpadlem s chlazením multi-split sice nemá nejnížší pořizovací a celkové náklady, ale při pohledu na celkové náklady se téměř neliší od varianty č.1. Z ekologického hlediska je to nejméně náročná varianta na neobnovitelné zdroje a z produkce emisí se jedná o druhou nejšetrnější variantu. Hlavním rozhodujícím kritériem, díky kterému je tato varianta lepší než varianta č.1, je dosažení kvality vnitřního prostředí, jelikož tato varianta zajišťuje dostatečný chladicí výkon a může se navrženými systémy zároveň chladit a topit. Díky dostatečné výkonové kapacitě tepelného čerpadla mohl být nastaven poměrně vysoký teplotní útlum (3 °C), aniž by musela být v provozu záložní méně ekonomicky a ekologicky příznivá elektrická patrona. Právě kvůli tomuto nastavení má tato varianta nejnížší provozní náklady a spotřebu neobnovitelné primární energie.

### **13.3 Vyhodnocení varianty č.3**

Tato varianta se z hlediska dosažených bodů umístila na třetím místě. Z hlediska provozních nákladů na vytápění se jedná o nejpříznivější variantu, ovšem po započtení čerpací práce na hydraulicky náročnější systém kapilárních rohoží a nižší účinnosti systému chlazení má tato varianta o něco vyšší provozní náklady než varianta č.2. Díky malé teplotě přívodní vody a menšímu podílu konvekční složky se jedná o méně dynamický systém, a proto nebyl nastavován teplotní útlum vytápění. Navzdory tomu, že má tato varianta nejvyšší účinnost systému vytápění, tak kvůli vytápění bez útlumu je o něco horší oproti variantě č.2 jak z hlediska provozních nákladů, tak i ve spotřebě neobnovitelné primární energie. Nicméně ani možný přínos úspor z nastavení útlumu vytápění by nedokázal vyrovnat vyšší investiční náklady, jelikož aby byly celkové náklady pro varianty č.2 a č.3 stejné, musela by být spotřeba na vytápění varianty č.3 o cca 45 % menší (1 950 kWh). Obecně je



ale možné říci, že tímto systémem se v rámci všech uvažovaných variant dá dosáhnout nejnižších provozních nákladů, pokud by byla vhodně nastavena teplota útlumového režimu vytápění a topný výkon tepelného čerpadla by měl dostatečnou rezervu nad potřebou tepla.

### **13.4 Vyhodnocení stávajícího systému**

Stávající systém s elektrickým sálavým vytápěním a hybridní fotovoltaickou elektrárnou je tak dle multikriteriálního hodnocení na posledním místě. Díky tomu, že má tato varianta nejvyšší podíl elektrické energie na provozu budovy, tak kvůli vysokým cenám za elektrickou energii má tato varianta nejvyšší provozní náklady. Elektrická energie má navíc v současné době i nejvyšší faktor neobnovitelné primární energie a faktor emisí oxidu uhličitého, což z této varianty dělá i nejméně šetrné řešení vzhledem k životnímu prostředí. Výroba elektrické energie z fotovoltaické elektrárny sice dokáže snížit spotřebu elektrické energie, ale vzhledem k vysoké spotřebě baterií a střídačů je celkový přínos vyrobené energie v porovnání s ostatními variantami nedostatečný. V současné době se vysoká investice na hybridní fotovoltaickou elektrárnu pro řešený objekt nevyplatí ani při poskytnutí dotací, které jsou navíc určeny na modernizace, a nikoliv na novostavby administrativních budov. Momentálně však není ani podpora ze strany distributorů pro hybridní systémy, proto v současné době je jejich instalace z ekonomického a ekologického hlediska v řešeném objektu nepřínosná.

Aby se hybridní fotovoltaická elektrárna vyplatila instalovat musela by se zvýšit účinnost fotovoltaických panelů (hlavně v zimních měsících), nebo snížit cena za bateriové úložiště včetně střídačů, popř. zvýšit podpora ze strany státu a distributorů elektrické energie. U všech zmíněných problémů se však dá předpokládat, že budou neustále ve větším zájmu veřejnosti i vědy.

Samotné vytápění elektrickými sálavými systémy je nevhodné z důvodu vysoké spotřeby elektrické energie. Zde by možná stálo za úvahu vyměnit stávající systém vytápění za teplovodní systém s tepelným čerpadlem, které nabízí významnou redukci spotřeby elektrické energie. Proto byl vytvořen výpočet celkových nákladů upravené varianty č.2, kde po dvou letech provozu byla nainstalována hybridní fotovoltaická elektrárna s přiznanou dotací dle

velikosti podniku. Výsledky celkových nákladů pro jednotlivé velikosti podniku jsou uvedeny v tabulce č.36.

*Tab. č.36 – Kombinace varianty č.2 a hybridní fotovoltaické elektrárny*

<b>Rok</b>	<b>Malý podnik</b>	<b>Střední podnik</b>	<b>Velký podnik</b>
0	533 031	533 031	533 031
1	587 586	587 586	587 586
2	853 507	939 704	1 025 899
3	907 894	994 091	1 080 286
4	961 496	1 047 693	1 133 888
5	1 014 325	1 100 522	1 186 717
6	1 066 392	1 152 590	1 238 785
7	1 117 709	1 203 906	1 290 101
8	1 168 285	1 254 482	1 340 677
9	1 218 132	1 304 329	1 390 524
10	1 267 259	1 353 456	1 439 652
11	1 315 679	1 401 876	1 488 071
12	1 363 399	1 449 596	1 535 792
13	1 410 432	1 496 629	1 582 824
14	1 456 786	1 542 983	1 629 178
15	1 631 968	1 718 165	1 804 360
16	1 676 995	1 763 192	1 849 387
17	1 721 372	1 807 569	1 893 764
18	1 765 109	1 851 307	1 937 502
19	1 808 216	1 894 413	1 980 608
20	<b>1 793 982</b>	<b>1 880 179</b>	<b>1 966 374</b>

Výslednou kombinací lze docílit až o 33 % snížení spotřeby elektrické energie vůči stávajícímu stavu a o 27 % vůči variantě č.2. Nicméně tato kombinace vyžaduje velké investiční náklady i přes započtení dotace na hybridní fotovoltaickou elektrárnu a tím tak vychází velmi vysoké celkové náklady. Z ekonomického hlediska se tak nejedná o vhodné řešení, avšak z hlediska ekologie by se v rámci budovy jednalo o nešetnější variantu k životnímu prostředí.

## Závěr

Cílem diplomové práce bylo vyhodnocení provozu a uplatnitelnosti plně elektrifikované administrativní budovy s hybridní fotovoltaickou elektrárnou.

Pro vyhodnocení byly navrženy alternativní varianty systémů vytápění a chlazení, s kterými mohl být stávající systém porovnán. Pro tyto varianty včetně stávajícího systému byly vypracovány projektové dokumentace vytápění, které sloužily pro stanovení investičních nákladů. Dále na základě podrobných dat z provozu objektu, byl vytvořen simulační model budovy, který reflektoval skutečné chování objektu. Ovšem pro zdárnou kalibraci bylo nutné nastavit parametry modelu, které neodpovídaly skutečnému stavu a jen díky podrobným datům mohl být model přenastaven tak, aby odpovídal skutečnosti, avšak se zanedbatelnými odchylkami. Ve zkalibrovaném modelu bylo možné nastavovat provozní stavy vytápění a pro alternativní varianty tak byl určen optimální provoz vytápění, který by mohl být nastaven v rámci reálně provozovaného systému. Nicméně zvolený program měl své limity a nebylo zcela možné v krátkém čase modelovat detailně prvky otopné soustavy, proto chování systému vytápění jednotlivých variant bylo stanoveno ručně. V rámci ručního výpočtu účinností byly uvažovány veškeré ztráty otopných soustav jako nevyužitelné, ovšem v reálném provozu by byly mnohem menší a podílely by se na vytápění prostorů objektu. Spotřeby na vytápění pro varianty s tepelnými čerpadly byly stanoveny ručním a programovým výpočtem, přičemž obě metody poskytovaly téměř podobné výsledky. Na základě celkových spotřeb a příslušných tarifů ke zvoleným technickým řešením v jednotlivých variantách byly stanoveny roční náklady. Nejproblematictější úkolem bylo zejména určení spotřeb ve vysokém a nízkém tarifu, které byly určeny zjednodušeně na základě průměrných odběrových špiček budovy v průběhu dne. Reálně by však doby nízkých a vysokých tarifů mohly být jiné a tím by byly i jiné roční náklady, nicméně uvažované doby tarifů jsou na straně bezpečnosti a lehce tak zvýhodňují varianty pouze s jedním tarifem. V rámci stanovení provozních nákladů alternativních variant se tak projevilo několik nepřesností, avšak pro účely práce zanedbatelných.

V rámci porovnání navržených variant se stávajícím systémem byly stanoveny hodnotící kritéria včetně určení jejich důležitosti. Hodnocenými

kritérii byly investiční náklady, celkové náklady, neobnovitelná primární energie, emise znečišťujících látek a oxidu uhličitého a dosažení kvality vnitřního prostředí. Z multikriteriálního hlediska je pro budovu nejlepší varianta s tepelným čerpadlem s deskovými otopnými tělesy a s kompresorovým chlazením, jelikož silné stránky této varianty jsou hlavně nízké provozní náklady a je velmi šetrná k životnímu prostředí, avšak za cenu vyšších pořizovacích nákladů.

Stávající systém je z multikriteriálního hlediska jako nejméně vhodné řešení v rámci řešených variant. Vysoké pořizovací náklady na bateriové úložiště a střídače v kombinaci s nejvyššími provozními náklady činí z této varianty ekonomicky nejnákladnější systém. V průběhu práce byla ověřována i možnost získání dotací na hybridní fotovoltaickou elektrárnu, avšak ani s dotací se stávající systém ekonomicky nevyplatí. Jelikož má tato varianta nejvyšší spotřebu elektrické energie, tak je i nejméně šetrná k životnímu prostředí. V současné době je tak instalace hybridní fotovoltaické elektrárny v kombinaci s vytápěním elektrickými sálavými panely v porovnání s ostatními variantami nepřínosná.

Hodnocený systém je však stále na začátku vývoje a v budoucnu se dá očekávat jeho častější instalace ať už z důvodu technologického pokroku nebo větší podpory ze strany státu a distributorů elektrické energie.

## Seznam použitých zdrojů a literatury

- [1] *FENIX OFFICE CENTRE je technologickou stavbou roku 2016 Olomouckého kraje* [online]. UCEEB, ČVUT v Praze, © 2014 [cit. 2018-10-10]. Dostupné z:  
<http://www.uceeb.cz/fenix-office-centre-je-technologickou-stavbou-roku-2016-olomouckeho-kraje>
- [2] *Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci*. In: Sbírka zákonů České republiky. 2007, částka 111. Dostupné z:  
<http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=5202>  
ISSN 1211-1244. Ve znění pozdějších předpisů.
- [3] Hirš J., Gunter G., *Vzduchotechnika v příkladech-1*. CERM, 2006, s. 40. ISBN 80-7204-486-9.
- [4] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov-Část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. Třídící znak 730540
- [5] Kašík P., *Jaká je správná koncentrace CO2 ve zdravé budově?* In: tzb-info.cz [online]. topinfo s.r.o., © 2001-2015. [cit. 2018-10-28]. Dostupné z:  
<https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-skol/17612-jaka-je-spravna-koncentrace-co2-ve-zdrave-budove>
- [6] ČSN EN 12 464-1. *Světlo a osvětlení-Osvětlení pracovních prostorů-Část 1: Vnitřní pracovní prostory*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012, s. 21. Třídící znak 360540.
- [7] Trina Solar [online]. *TSM-PC05. Technický list*. © 2018. [cit. 2018-11-05]. Dostupné z:  
[https://static.trinasolar.com/sites/default/files/PC05\\_Datasheet\\_40mm\\_EN.pdf](https://static.trinasolar.com/sites/default/files/PC05_Datasheet_40mm_EN.pdf)
- [8] ČSN 73 0331-1. *Energetická náročnost budov-Typické hodnoty pro výpočet-Část 1: Obecná část a měsíční výpočtová data*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018, s. 13-13. Třídící znak 730331.

- [9] *HVAC Templates - System Heating/Cooling* [online]. DesignBuilder Software Ltd. [cit. 2018-11-07]. Dostupné z: [https://www.designbuilder.co.uk/helpv4.7/Content/HVAC\\_Templates\\_-\\_System.htm](https://www.designbuilder.co.uk/helpv4.7/Content/HVAC_Templates_-_System.htm)
- [10] Bašta J., *Elektrické převážně sálavé vytápění (II)*. In: tzb-info.cz [online]. topinfo s.r.o., © 2001-2015. [cit. 2018-11-07]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-elektinou/2910-elektricke-prevazne-salave-vytapani-ii>
- [11] *Geotermální energie v ČR* [online]. Oenergetice.cz. [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrarny-cr/geotermalni-energie-v-cr/>
- [12] Žeravík A., *Stavíme tepelné čerpadlo*. Antonín Žeravík. 2003, s. 49. ISBN 80-239-0275-X.
- [13] *Přednosti elektrického vytápění* [online]. topinfo.cz. [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-elektinou/306-prednosti-elektrickeho-vytapani>
- [14] Fenix Trading s.r.o., *Dům s fotovoltaikou a domovní baterií – 20 měsíců provozu*. In: tzb-info.cz [online]. topinfo s.r.o., © 2001-2015. [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/17501-dum-s-fotovoltaikou-a-domovni-baterii-20-mesicu-provozu>
- [15] Bašta J., Kabele K. *Otopné soustavy teplovodní*. Společnost pro techniku prostředí, 2008, s. 35. ISBN 978-80-02-02064-6.
- [16] *Ekvitermní křivky* [online]. topinfo.cz. [cit. 2018-11-18]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/50-ekvitermni-krivky>
- [17] *IsodimCZ* [online]. ProgramBiggerne ANS. [cit. 2018-11-18]. Dostupné z: <http://www.programbyggerne.no/IsodimCZ/>
- [18] Vaillant [online]. *Projekční podklady tepelná čerpadla aroTHERM VWL A vzduch/voda*. © 2018. [cit. 2018-11-30]. Dostupné z: <https://www.vaillant.cz/downloads/projek-n-podklady/pp-kl-02-e2-ver-4-arothers-862247.pdf>

- [19] HENNLICH s.r.o. [online]. *KR-souhrn pro projektanty*. © 2018. [cit. 2018-12-05]. Dostupné z:  
[https://g-term.hennlich.cz/fileadmin/\\_migrated/Kapil%C3%A1rn%C3%AD\\_roho%C5%BEE\\_G-term-souhrn\\_projektanti.pdf](https://g-term.hennlich.cz/fileadmin/_migrated/Kapil%C3%A1rn%C3%AD_roho%C5%BEE_G-term-souhrn_projektanti.pdf)
- [20] ČEZ, a.s., *Podmínky distribučních sazeb ČEZ Distribuce-podnikatelé*. © 2018. [cit. 2018-12-17]. Dostupné z:  
<https://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/podminky-distribucnich-sazeb/podminky-distribucnich-sazeb-2018-podnikatele.pdf>
- [21] *Kalkulátor cen energií* [online]. topinfo.cz. [cit. 2018-12-17]. Dostupné z:  
<https://kalkulator.tzb-info.cz/cz/dodavka-elektricke-energie-pro-firmy-porovnani-nabidek?id=1221>
- [22] *Kalkulátor cen energií* [online]. topinfo.cz. [cit. 2018-12-17]. Dostupné z:  
<https://kalkulator.tzb-info.cz/cz/dodavka-zemniho-plynu-porovnani-nabidek?id=1980>
- [23] ČSN EN 15 459-1. *Energetická náročnost budov-Postup pro ekonomické hodnocení energetických soustav v budovách-Část 1: Výpočtové postupy, Modul M1-14*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018. Třídící znak 060405.
- [24] *Inflace-druhy, definice, tabulky* [online]. Český statistický úřad. [cit. 2018-12-21]. Dostupné z:  
[https://www.czso.cz/csu/czso/mira\\_inflace](https://www.czso.cz/csu/czso/mira_inflace)
- [25] Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. *Úspory energie FVE II*. © 2005-2018. [cit. 2018-12-22]. Dostupné z:  
[https://www.mpo.cz/assets/cz/podnikani/dotace-a-podpora-podnikani/oppik-2014-2020/vyzvy-op-pik-2017/2017/12/Uspory-energie\\_FVE\\_II\\_-Vyzva\\_final.pdf](https://www.mpo.cz/assets/cz/podnikani/dotace-a-podpora-podnikani/oppik-2014-2020/vyzvy-op-pik-2017/2017/12/Uspory-energie_FVE_II_-Vyzva_final.pdf)
- [26] Urban M., Bejček M., Wolf P., Vodička A., *Administrativní budova OC FENIX jako budova s téměř nulovou spotřebou energie – stavebně-technické řešení*. In: tzb-info.cz [online]. topinfo.cz. © 2001-2015. [cit. 2018-12-22]. Dostupné z:  
<https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/17871-administrativni-budova-oc-fenix-jako-budova-s-temer-nulovou-spotrebou-energie-stavebne-technicke-reseni>

- [27] Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. *Úspory energie II výzva Příloha č.2 - Vymezení způsobilých výdajů*. © 2005-2018. [cit. 2018-12-22]. Dostupné z:  
[https://www.mpo.cz/assets/cz/podnikani/dotace-a-podpora-podnikani/oppik-2014-2020/vyzvy-op-pik-2017/2017/12/Uspory-energie\\_-II--vyzva\\_-Priloha-c--2\\_-Vymezeni-zpusobilych-vydaju\\_metodikafin.pdf](https://www.mpo.cz/assets/cz/podnikani/dotace-a-podpora-podnikani/oppik-2014-2020/vyzvy-op-pik-2017/2017/12/Uspory-energie_-II--vyzva_-Priloha-c--2_-Vymezeni-zpusobilych-vydaju_metodikafin.pdf)
- [28] *Nařízení Komise (EU) č. 651/2014 ze dne 17. června 2014, kterým se v souladu s články 107 a 108 Smlouvy o EU prohlašují určité kategorie podpory za slučitelné s vnitřním trhem*. In: Úřední věstník EU, L 187, str. 70.  
Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2014:187:FULL&from=EN>
- [29] *Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov*. In: Sbíрка zákonů České republiky. 2013, částka 36. Dostupné z:  
<http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=z&id=25726>  
Ve znění pozdějších předpisů.
- [30] *Vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku*. In: Sbíрка zákonů České republiky. 2012, částka 4762.  
Dostupné z:  
<http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=z&id=61142>  
Ve znění pozdějších předpisů.
- [31] Ministerstvo životního prostředí [online]. *Emisní faktory a poměry částic PM10 a PM2,5 v TZL pro vypracování energetických posudků a auditů*. © 2018 [cit. 2018-12-27]. Dostupné z:  
[https://www.mzp.cz/cz/emisni\\_faktory\\_pomery\\_castic](https://www.mzp.cz/cz/emisni_faktory_pomery_castic)



## Seznam příloh

### Příloha č.1

Tepelné ztráty

Tepelné zisky

### Příloha č.2 – Stávající stav

P.2 – Technická zpráva

P.2.1 – Půdorys 1.NP – VYTÁPĚNÍ

P.2.2 – Půdorys 2.NP – VYTÁPĚNÍ

P.2.3 – Půdorys 3.NP – VYTÁPĚNÍ

P.2.4 – Půdorys střechy – VYTÁPĚNÍ

P.2.5 – Schéma vytápění

P.2.6 – Výkaz výměr

### Příloha č.3 – Varianta č.1

P.3 – Technická zpráva

P.3.1 – Půdorys 1.NP – VYTÁPĚNÍ

P.3.2 – Půdorys 2.NP – VYTÁPĚNÍ

P.3.3 – Půdorys 3.NP – VYTÁPĚNÍ

P.3.4 – Schéma zdroje

P.3.5 – Schéma soustavy

P.3.6 – Podélný řez přípojkou a rozvody plynu

P.3.7 – Dimenzování otopné soustavy

P.3.8 – Výkaz výměr

### Příloha č.4 – Varianta č.2

P.4 – Technická zpráva

P.4.1 – Půdorys 1.NP – VYTÁPĚNÍ

P.4.2 – Půdorys 2.NP – VYTÁPĚNÍ

P.4.3 – Půdorys 3.NP – VYTÁPĚNÍ

P.4.4 – Půdorys střechy – VYTÁPĚNÍ

P.4.5 – Schéma zdroje

P.4.6 – Schéma soustavy

P.4.7 – Dimenzování otopné soustavy

P.4.8 – Výkaz výměr

### Příloha č.5 – Varianta č.3

P.5 – Technická zpráva

P.5.1 – Půdorys 1.NP – VYTÁPĚNÍ

P.5.2 – Půdorys 2.NP – VYTÁPĚNÍ

P.5.3 – Půdorys 3.NP – VYTÁPĚNÍ

P.5.4 – Půdorys střechy – VYTÁPĚNÍ

- P.5.5 – Schéma zdroje
- P.5.6 – Dimenzování otopné soustavy
- P.5.7 – Výkaz výměr

**DVD disk (pouze tištěná verze)**

Všechny programové soubory, výpočty, poskytnutá naměřená data, projektové dokumentace VZT a chlazení (multi-split)