



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta elektrotechnická  
Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**

**Energetické úspory v bytovém domě**

**Energy savings of the apartment building**

Bakalářská práce

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

Vedoucí práce: Ing. Libor Straka

**Tomáš Hába**

---

**Praha 2015**

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Hába Tomáš**

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

*Název tématu:*

### **Energetické úspory v bytovém domě**

*Pokyny pro vypracování:*

1. Seznámení se s legislativou v oblasti energetických úspor.
2. Určení tepelných ztrát v bytovém domě.
3. Výpočet celkové energetické náročnosti objektu.
4. Návrh systému úspor ve vytápění.
5. Ekonomické vyhodnocení navržené varianty.

*Seznam odborné literatury:*

1. Brož K.: Vytápění. ČVUT, Praha, 2006.
2. Hradílek Z., Lázníčková I., Král V.: Elektrotepelná technika. ČVUT, 2011, 1. vydání.
3. Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Libor Straka

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016

L.S.

*Doc.Ing. Jaroslav Knápek, CSc.*

vedoucí katedry

*Prof.Ing. Pavel Ripka, CSc.*

děkan

V Praze dne 10.2.2015

# Prohlášení

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

V Praze dne: .....

.....

Tomáš Hába

# Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Liboru Strakovi za ochotu, podporu a vstřícnost, stejně tak za jeho čas, který mi v průběhu vypracovávání věnoval. Dále bych rád poděkoval Ing. Davidu Šafránkovi za poskytnutí nabídky pro návrh systému vytápění a přípravy teplé vody. V neposlední řadě bych chtěl rovněž vyjádřit poděkování své rodině za trpělivost a podporu během celého studia.

## **Anotace**

Tato bakalářská práce se zabývá výpočtem tepelných ztrát konkrétního bytového panelového domu. Na tento výpočet navazuje stanovení celkové energetické náročnosti dle současně platné legislativy, která je stručně popsána v první části práce. Zjištěné výsledky slouží jako podklad pro návrh systému vytápění a přípravy teplé užitkové vody s tepelnými čerpadly. Dalším cílem práce je zhodnotit ekonomickou výhodnost navrženého systému. K hodnocení bylo použito investiční kritérium čistá současná hodnota. Hlavním výsledkem práce je zjištění, že navržený systém s tepelnými čerpadly se při současných cenách energií vyplatí realizovat.

## **Klíčová slova**

Tepelné čerpadlo, tepelné ztráty, energetická náročnost budovy, součinitel prostupu tepla, čistá současná hodnota.

## **Abstract**

This bachelor thesis focuses on heat loss calculation of the apartment building. Mentioned calculation is followed by assessment of the total energy performance of the building according to the legislation currently in force which is briefly described in the first part of the thesis. The results are applied in the design of the heating and domestic hot water preparation system with heat pumps. The next aim of this thesis is an economic evaluation of the designed system with heat pumps using the economic criterion Net Present Value. The designed system is profitable to implement due to the current price of energy.

## **Key words**

Heat pump, heat losses, energy performance of building, heat transfer coefficient, Net Present Value.

# Obsah

<b>PROHLÁŠENÍ</b> .....	<b>3</b>
<b>PODĚKOVÁNÍ</b> .....	<b>4</b>
<b>ANOTACE</b> .....	<b>5</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>6</b>
<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>9</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>10</b>
<b>0 ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>1 LEGISLATIVA V OBLASTI ENERGETICKÝCH ÚSPOR BUDOV</b> ...	<b>13</b>
1.1 LEGISLATIVA V RÁMCI EVROPSKÉ UNIE .....	13
1.2 LEGISLATIVA V RÁMCI ČESKÉ REPUBLIKY .....	15
<b>2 ZÁKLADNÍ INFORMACE O OBJEKTU</b> .....	<b>17</b>
2.1 KLIMATICKÉ PODMÍNKY .....	17
2.2 TECHNICKÉ INFORMACE O OBJEKTU .....	19
<b>3 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT</b> .....	<b>22</b>
3.1 TEPELNÉ ZTRÁTY PROSTUPEM STĚNAMI .....	22
3.2 TEPELNÉ ZTRÁTY VĚTRÁNÍM .....	28
3.3 TEPELNÉ ZISKY .....	31
3.3.1 <i>Vnitřní tepelné zisky</i> .....	31
3.3.2 <i>Solární zisky</i> .....	31
<b>4 CELKOVÁ ENERGETICKÁ NÁROČNOST BYTOVÉHO DOMU</b> ....	<b>38</b>
4.1 PRŮMĚRNÝ SOUČINTEL PROSTUPU TEPLA.....	38
4.2 DÍLČÍ DODANÉ ENERGIE PRO TECHNICKÉ SYSTÉMY .....	40
4.2.1 <i>Vytápění</i> .....	40
4.2.2 <i>Příprava TUV</i> .....	45
4.2.3 <i>Osvětlení</i> .....	46
4.3 CELKOVÁ DODANÁ ENERGIE .....	47
4.4 CELKOVÁ PRIMÁRNÍ A NEOBNOVITELNÁ PRIMÁRNÍ ENERGIE .....	47
4.5 ZAŘAZENÍ DO ENERGETICKÝCH KLASIFIKAČNÍCH TŘÍD .....	49

<b>5</b>	<b>NÁVRH SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVY TUV .....</b>	<b>50</b>
5.1	TEPELNÉ ČERPADLO .....	50
5.2	NÁVRH SYSTÉMU PRO ZVOLENÝ OBJEKT .....	53
5.3	BIVALENTNÍ PROVOZ .....	54
5.4	ROČNÍ ENERGETICKÁ NÁROČNOST NAVRŽENÉHO SYSTÉMU.....	58
<b>6</b>	<b>EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NAVRŽENÉ VARIANTY .....</b>	<b>60</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>64</b>
	<b>REFERENCE .....</b>	<b>66</b>
	<b>TIŠTĚNÉ PŘÍLOHY .....</b>	<b>69</b>
	<b>ELEKTRONICKÉ PŘÍLOHY .....</b>	<b>79</b>



## Seznam tabulek

Tab. 1 Klimatické podmínky mosteckého regionu [11] [12] [13] .....	18
Tab. 2 Důležité rozměry budovy .....	19
Tab. 3 Návrhové hodnoty odporu při přestupu tepla na vnější a vnitřní straně konstrukce [19].....	23
Tab. 4 Návrhové hodnoty zvýšení součinitele prostupu tepla o vliv tepelných mostů .....	24
Tab. 5 Návrhové hodnoty zvýšení průměrného součinitele prostupu tepla o vliv tepelných vazeb ....	26
Tab. 6 Návrhové hodnoty činitelů teplotní redukce [19].....	27
Tab. 7 Vypočtené veličiny týkající se tepelných ztrát prostupem stěnami hodnocené budovy .....	27
Tab. 8 Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15665/Z1 [25] .....	29
Tab. 9 Charakteristické číslo budovy $B$ .....	30
Tab. 10 Vypočtené veličiny týkající se tepelných ztrát větráním hodnocené budovy .....	30
Tab. 11 Vypočtené veličiny týkající se vnitřních tepelných zisků.....	31
Tab. 12 Částečný korekční činitel stínění pro horizont $F_{hor}$ .....	33
Tab. 13 Částečný korekční činitel stínění pro markýzu $F_{ov}$ .....	33
Tab. 14 Částečný korekční činitel stínění pro žebra $F_{fin}$ .....	33
Tab. 15 Hodnoty propustnosti sluneční energie zasklení pro záření dopadající kolmo k povrchu .....	35
Tab. 16 Solární tepelné zisky v jednotlivých měsících pro hodnocenou budovu (ve W).....	36
Tab. 17 Celkové tepelné ztráty pro návrh otopného systému hodnocené budovy .....	37
Tab. 18 Požadované a doporučené hodnoty součinitelů prostupu tepla pro budovy s převažující vnitřní návrhovou teplotou v intervalu od 18 °C do 22 °C [22].....	39
Tab. 19 Maximální požadované hodnoty referenčního průměrného součinitele prostupu tepla [7]....	40
Tab. 20 Přehled důležitých údajů vztahujících se k průměrnému součiniteli prostupu tepla ref. budovy .....	40
Tab. 21 Normové hodnoty délky trvání výpočtových kroků .....	41
Tab. 22 Orientační hodnoty vnitřní tepelné kapacity.....	43
Tab. 23 Vypočtené potřeby tepla pro vytápění za rok.....	43
Tab. 24 Účinnosti jednotlivých částí technického systému vytápění .....	44
Tab. 25 Dílčí dodaná energie na vytápění .....	44
Tab. 26 Spotřeba TUV v hodnocené budově (v m <sup>3</sup> ) .....	45
Tab. 27 Fakturovaná spotřeba tepla na přípravu TUV (v GJ).....	45
Tab. 28 Účinnosti a ztráty v jednotlivých částech systému na přípravu TUV .....	46
Tab. 29 Dílčí dodaná energie na přípravu TUV.....	46
Tab. 30 Dílčí dodaná energie na osvětlení .....	46
Tab. 31 Celková dodaná energie za rok .....	47
Tab. 32 Primární energie hodnocené budovy .....	48
Tab. 33 Primární neobnovitelná energie referenční budovy - dokončené.....	48
Tab. 34 Primární neobnovitelná energie referenční budovy - nové.....	49
Tab. 35 Zařazení hodnocené budovy do klasifikačních tříd.....	49
Tab. 36 Cenová specifikace návrhu systému vytápění a přípravy TUV .....	54
Tab. 37 Přehled energetické náročnosti navrženého systému .....	59
Tab. 38 Ceník energií .....	60
Tab. 39 Podklady pro výpočet NPV projektu .....	61
Tab. 40 Průběh peněžních toků v jednotlivých letech .....	62

## Seznam obrázků

Obr. 1 Současný stav .....	20
Obr. 2 Stanovení systémové hranice klimatizované zóny [18] .....	22
Obr. 3 Graf průběhu teplot v konstrukci stěny s EPS-F 120 mm [21] .....	25
Obr. 4 Znárodnění úhlů stínění jednotlivých překážek [29] .....	34
Obr. 5 Příklad cyklu tepelného čerpadla [16] .....	50
Obr. 6 Tepelné čerpadlo vzduch-voda [16] .....	53
Obr. 7 Závislost topného výkonu tepelného čerpadla WPL 23 E na teplotě venkovního vzduchu .....	55
Obr. 8 Závislost topného faktoru tepelného čerpadla WPL 23 E na teplotě venkovního vzduchu .....	55
Obr. 9 Závislost příkonu tepelného čerpadla WPL 23 E na teplotě venkovního vzduchu .....	56
Obr. 10 Model okruhu otopné soustavy s tepelným čerpadlem .....	57
Obr. 11 Teplota bivalence pro posuzovaný dům s tepelnými čerpadly WPL 23 E .....	57
Obr. 12 Průběh venkovní teploty v období dvou let – měsíční průměrné hodnoty .....	58
Obr. 13 Průběh venkovní teploty v období dvou let – denní průměrné teploty .....	58
Obr. 14 Průběh diskontovaného peněžního toku .....	62

## 0 Úvod

Účinné a rozumné využívání energií s ohledem na životní prostředí je dnes jedním z hlavních témat, jež stojí v centru zájmu světového společenství. Energetické úspory v jakémkoli odvětví, tedy i ve stavebnictví, tak napomáhají k trvale udržitelnému rozvoji společnosti.

K dosažení co největších úspor dnes vedou i stále se zvyšující náklady za energie, což vede k omezení plýtvání a k investicím do moderních technologií, čímž se v důsledku postupně snižuje celková spotřeba. Při výstavbě většiny nových budov je nízká energetická náročnost již samozřejmostí, v blízké době se stane dokonce povinností. U rekonstrukcí starších objektů pak lze rovněž dosáhnout velmi výrazných úspor, které počáteční vložené finanční prostředky do několika let navrátí. Vzhledem k poměrně početné zástavbě panelových domů je v České republice velký potenciál dosáhnout výrazných úspor při správném zateplení, nerekonstruované domy jsou z dnešního hlediska nevyhovující a dochází zde k neefektivnímu využívání energií. Jelikož se budovy podílejí na spotřebě energií výraznou měrou, lze v této oblasti dosáhnout úspor nezanedbatelných v celostátním měřítku.

Po zateplení panelových domů, které jsou z velké části napojeny na centrální systém zásobování teplem, však vzniká problém s předimenzovanými otopnými soustavami. Rovněž transport teplé vody na větší vzdálenosti z tepláren do objektů přináší poměrně vysoké ztráty. Zde se jako možnost jeví výroba tepla pro vytápění, případně přípravu teplé vody, přímo v daném objektu, takový systém bude již přizpůsobený tepelným ztrátám po zateplení a nebude předimenzovaný. Proto i současná legislativa ukládá povinnost při výstavbě nových budov či při velkých rekonstrukcích starších objektů zanalyzovat možnost realizace podobného alternativního systému.

Cílem této bakalářské práce je navrhnout alternativní systém vytápění a přípravy teplé vody s tepelným čerpadlem. Konkrétním objektem zájmu práce pro realizaci takového systému je bytový panelový dům nacházející se v Mostě s místním blokovým číslem 503. Jelikož v roce 2017 skončí pro společenství vlastníků bytových jednotek bloku 503 povinnost odebírat teplo z centrálního zásobování, stávají se tyto alternativní systémy pro bytový dům aktuálním tématem. Navržený systém bude rovněž podroben analýze za pomoci ekonomických ukazatelů, aby se zjistilo, zda je investice výhodná.

První kapitola práce je věnována legislativě v oblasti energetické náročnosti budov a to jak na evropské, tak i na národní úrovni. Další tři kapitoly práce se věnují výpočtu tepelných ztrát a stanovení celkové energetické náročnosti budovy. V této části jsou nejprve popsány klimatické podmínky příslušné oblasti a současný stav budovy. Z těchto informací se dále vychází při jednotlivých výpočtech tepelných ztrát, které se použijí pro dimenzování systému vytápění a následně se stanoví celková potřeba tepla budovy pro vytápění a přípravu teplé vody. Pátá kapitola se zabývá samotným návrhem systému s tepelným čerpadlem a v poslední kapitole lze najít ekonomické zhodnocení navržené varianty.

# 1 Legislativa v oblasti energetických úspor budov

V roce 2004 se Česká republika stala členským státem ekonomického a politického uskupení evropských států s názvem Evropská unie (EU), čímž se rovněž zavázala k dodržování jejích právních předpisů. EU zaujímá ve světě vedoucí roli v oblasti efektivního využívání energií, proto jsou na členské státy kladeny poměrně vysoké nároky, co se týče energetických úspor. Cílem je snížit závislost na neobnovitelných zdrojích energie, zvýšit podíl obnovitelných zdrojů a tím také snížit zátěž na životní prostředí. Nejinak je tomu i ve stavebnictví.

## 1.1 Legislativa v rámci Evropské unie

Budovy se na celkové spotřebě energie v EU podílejí 40 %, jedná se tak o sektor s velkým příspěvkem produkce skleníkových plynů, zejména CO<sub>2</sub>. Prioritou Unie je zvýšení využití obnovitelných zdrojů spolu se snižováním celkové spotřeby energie tak, aby došlo k naplnění závazku o poklesu emisí skleníkových plynů o jednu pětinu do roku 2020 oproti hodnotám z roku 1990. Splnění cíle by mělo za následek rovněž snížení energetické závislosti EU.

Problematiku energetických úspor ve stavebnictví v rámci EU řeší směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU ze dne 19. května 2010 o energetické náročnosti budov (dále jen „směrnice“)<sup>1</sup>. Směrnice svým textem nařizuje členským státům Unie přijmout opatření vedoucí ke snižování *energetické náročnosti budov*<sup>2</sup> a stanovit určité minimální požadavky. Zavedená opatření by měla respektovat lokální podmínky konkrétního státu, avšak neměla by se příliš odlišovat od srovnávacího rámce stanoveného centrálně Evropskou komisí. Směrnice rovněž požaduje stanovit dané požadavky s ohledem na optimalizaci rovnováhy mezi investicemi a úsporami na energiích, které budou během životního cyklu budovy dosaženy. Pro tento účel text směrnice zavádí pojem *nákladově optimální úroveň*.

K dosažení cíle EU v oblasti snížení emisí skleníkových plynů směrnice napomáhá i požadavkem komplexního posouzení proveditelnosti vysoce účinných alternativních systémů při projektování nových budov. Mezi tyto systémy směrnice řadí:

- a) místní systémy dodávky energie využívající energii z obnovitelných zdrojů;

<sup>1</sup> Tato úprava zrevidovala směrnici Evropského parlamentu a Rady 2002/91/ES z 16. prosince 2002 [1].

<sup>2</sup> Energetickou náročností budovy se myslí „vypočítané nebo změřené množství energie nutné pro pokrytí potřeby energie spojené s typickým užíváním budovy, což mimo jiné zahrnuje energii používanou pro vytápění, chlazení, větrání, teplou vodu a osvětlení“ [2].

- b) kombinovaná výroba tepla a elektřiny;
- c) ústřední nebo blokové vytápění nebo chlazení, zejména využívá-li zčásti nebo zcela energii z obnovitelných zdrojů;
- d) tepelná čerpadla.

Pro již stojící budovy pak platí, že výše uvedené alternativní systémy mají být předmětem analýzy, pokud jsou proveditelné, při *větších renovacích*<sup>3</sup>. Navíc se při projektování větších renovací musí brát v úvahu i splnění minimálních požadavků na energetickou náročnost budovy stejně jako v případě budovy nové (kromě výjimek uvedených ve směrnici, např. architektonické památky, budovy sloužící pro bohoslužby, atd.).

Zásadním a zároveň poměrně ambiciózním požadavkem směrnice jsou *budovy s téměř nulovou spotřebou energie*<sup>4</sup>. Směrnice stanovuje, že do 31. 12. 2020 všechny nové budovy mají být budovami s téměř nulovou spotřebou energie. Pro zavádění zmíněného požadavku do praxe je vyzdvihován význam orgánů veřejné moci, které mají jít příkladem. U budov využívaných těmito orgány je proto termín posunut na 31. 12. 2018. Přesná kritéria budov s téměř nulovou spotřebou energie jsou závislá na konkrétních místních podmínkách, proto se mohou normy a vyhlášky jednotlivých členských států týkající se těchto budov lišit [2].

Mimo to se v dnešní době můžeme setkat ještě se dvěma podobnými pojmy. Jsou to tzv. *nízkoenergetické domy* a *domy pasivní*. Za nízkoenergetické domy mohou být označeny takové budovy, které mají měrnou potřebu tepla na vytápění do hodnoty 50 kWh/m<sup>2</sup> za rok. Tato hodnota je zpravidla několikanásobně nižší než u běžných staveb a lze ji dosáhnout například i u kvalitních renovací bytových domů. Termínem pasivní dům pak mohou být označeny budovy s hodnotou měrné potřeby tepla 15 kWh/m<sup>2</sup> a nižší. Zde se již musí využít nejmodernějších technologií v oblasti izolace, vliv má i tvar a poloha budovy a samozřejmě jsou rekuperační systémy. Dle použitého názvosloví by se mohlo zdát, že budova označená směrnicí jako budova s téměř nulovou spotřebou energie bude dosahovat ještě lepších hodnot než pasivní dům. Avšak podle současné legislativy a jejího poměrně problematickému výkladu se budova s téměř nulovou spotřebou energie svými parametry pohybuje spíše v kategorii nízkoenergetických domů [3] [4].

---

<sup>3</sup> Větší renovací se myslí renovace budovy, při které „renovace probíhá u více než 25 % plochy obvodového pláště budovy“ [2]. Tuto definici si zvolila Česká republika.

<sup>4</sup> „Budova, jejíž energetická náročnost určená podle metody, dané touto směrnicí, je velmi nízká. Téměř nulová či nízká spotřeba požadované energie by měla být ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů, včetně energie z obnovitelných zdrojů vyráběné v místě či v jeho okolí.“ [1]

K dosažení cílů v oblasti energetických úspor mají být použity i finanční pobídky ze strany členských států, např. formou dotačních programů. V rámci České republiky mohou zmínit dotační program Zelená úsporám.

## 1.2 Legislativa v rámci České republiky

Do českého právního řádu je směrnice zavedena pomocí zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií ve smyslu změnového znění pod č. 318/2012 Sb. s účinností od 1. ledna 2013. Navíc jsou k tomuto zákonu přiřazeny prováděcí vyhlášky, oblastí energetické náročnosti budov se pak zabývá vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov (dále jen „vyhláška č. 78/2013 Sb.“) s účinností od 1. dubna 2013 [5].

Vyhláška č. 78/2013 Sb. popisuje proces při zpracovávání průkazu energetické náročnosti budovy (dále „PENB“), obsahuje potřebné vzorce pro výpočty, popřípadě se odkazuje na příslušné ČSN a součástí je i grafická ukázka PENB.

Při používání termínu PENB často dochází k zaměňování za tzv. energetický štítek. Pojem energetický štítek se myslí energetický štítek obálky budovy. Jak už název napovídá, zkoumá prostup tepla obálkou budovy, tepelné vlastnosti použitých materiálů a stavebních struktur oddělujících vnější prostředí od vnitřního prostředí budovy. Vyhotovuje se na základě ČSN 73 0540-2 a zajišťuje podpůrná data pro vytváření PENB, který je komplexnější [6].

Vyhláška č. 78/2013 Sb. navazuje na praxi vydávání PENB, která započala v plné míře od 1. 1. 2009 ještě dle předchozí vyhlášky o energetické náročnosti budov č. 148/2007 Sb. Předchozí vyhláška vycházela ze směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/91/ES, v praxi se však neukázala jako vhodná, protože byla příliš benevolentní a nejednoznačná při hodnocení budov. Toto hodnocení se zakládalo na měření dosavadní spotřeby energie a výsledné hodnoty se porovnávaly pouze s tabulkou uvedenou v příloze vyhlášky. Stávající vyhláška č. 78/2013 Sb. tento problém eliminuje pomocí zavedení systému *referenční budovy*<sup>5</sup>. Hodnocení se provádí na základě výpočtu, výsledky jsou porovnávány s referenčními hodnotami v několika ukazatelích energetické náročnosti a musejí být vždy lepší. Referenční budova by tak měla sloužit k nalezení systémového řešení vedoucího k nižší spotřebě energií [5].

---

<sup>5</sup> Referenční budovou se rozumí „výpočtově definovaná budova téhož druhu, stejného geometrického tvaru a velikosti včetně prosklených ploch a částí, stejné orientace ke světovým stranám, stínění okolní zástavbou a přírodními překážkami, stejného vnitřního uspořádání a se stejným typickým užíváním a stejnými uvažovanými klimatickými údaji jako hodnocená budova, avšak s referenčními hodnotami vlastností budovy, jejich konstrukcí a technických systémů budovy“ [7].

Okolnosti, za kterých je povinností vypracovat PENB, jsou zakotveny ve zmíněném zákoně č. 406/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů. Zákon určuje, že všechny novostavby s datem podání stavebního povolení po 1. 1. 2013 musejí mít zpracovaný PENB, stejný požadavek platí při prodeji budovy nebo bytu a je povinností uvádět energetickou třídu objektu v inzerci. Pro pronájem je stanoveno totožné datum, u bytových domů se pak týká pronájmu celé budovy. Při pronájmu jednotlivých bytů platí tato povinnost až od 1. ledna 2016. Ovšem u bytových domů je určeno další kritérium určující povinnost nechat si vypracovat PENB a to dle energeticky vztahné plochy<sup>6</sup>:

- a) nad 1500 m<sup>2</sup> od 1. ledna 2015,
- b) nad 1000 m<sup>2</sup> od 1. ledna 2017,
- c) všechny ostatní od 1. ledna 2019.

Pro administrativní budovy jsou stanoveny stejné požadavky jako pro bytové domy. PENB má platnost 10 let od jeho vypracování, pokud budova nebude během tohoto období podrobena větší rekonstrukci.

Samotné grafické zpracování PENB se skládá ze dvou listů. Listy obsahují základní identifikační a technické informace o budově, dále grafické znázornění energetické náročnosti budovy, které se podobá známým štítkům na elektrospotřebičích. Budova je tak zařazena do energetické třídy dle celkové dodané energie za rok a vlivu na životní prostředí charakterizovaného *neobnovitelnou primární energií*. PENB také uvádí doporučená opatření vedoucí ke snížení energetické náročnosti budovy a graf vyjadřující zastoupení jednotlivých *energonositelů*<sup>7</sup> na dodané energii, což umožňuje odhadnout náklady na energie při běžném užívání objektu. Poslední částí jsou ukazatele energetické náročnosti budovy vyjadřující kvalitu jednotlivých technických systémů budovy (vytápění, osvětlení, atd.) opět pomocí energetických tříd. V této části se lze dozvědět, kde je možno dosáhnout největších úspor v systému a na co je dobré se zaměřit [8].

Ke grafickému znázornění PENB se dodává několikastránkový protokol obsahující podrobný popis energetické náročnosti budovy a jsou zde také rozvedena doporučená opatření vedoucí ke snížení náročnosti. Přílohou k PENB by měly být i výpočty dokládající, že se postupovalo dle platných předpisů [9].

---

<sup>6</sup> „Vnější půdorysná plocha všech prostorů s upravovaným vnitřním prostředím v celé budově, vymezená vnějšími povrchy konstrukcí obálky budovy.“ [8]

<sup>7</sup> „Hmota nebo jev, které mohou být použity k výrobě mechanické práce nebo tepla nebo na ovládání chemických nebo fyzikálních procesů.“ [7]



## 2 Základní informace o objektu

Před samotným výpočtem tepelných ztrát je třeba zhodnotit a popsat klimatické podmínky, ve kterých se daná budova nachází. Nezbytností jsou pak i informace o zkoumané budově, jako např. použité stavební materiály, rozměry či technické systémy.

### 2.1 Klimatické podmínky

Klimatem neboli podnebím se rozumí dlouhodobý stav počasí, jedná se tedy o určité průměrné stavy ovzduší v dané lokalitě. Klimatické podmínky hrají významnou roli při určování tepelných ztrát budov, stejně tak při dimenzování otopného systému. Mezi hlavní sledované veličiny patří zejména teplota vzduchu, rychlost větru, sluneční záření a vlhkost vzduchu. Vliv podnebí dané lokality je tak třeba brát v úvahu již při projektování budovy a v dnešní době se postupuje ve shodě s místními podmínkami k zajištění energetických potřeb budov obnovitelnými zdroji v co největší míře.

Bytový dům, který je předmětem této bakalářské práce, se nachází ve městě Most v Ústeckém kraji, tedy v severozápadní části České republiky na úpatí Krušných hor. Vzhledem k umístění v pánevní oblasti spadá oblast Mostu do tzv. srážkového stínu Krušných hor a lokalita je proto chudší na dešťové srážky. Pohoří obklopující pánev tvoří z jedné strany přírodní větrnou bariéru, město tak často sužují inverze a v ovzduší se zvyšují koncentrace škodlivých látek. K tomuto jevu přispívají i nedaleké chemické závody. Kromě zvýšené zátěže na obyvatelstvo se tento fenomén negativně projevuje na použitých stavebních materiálech, které mohou rychleji degradovat, stejně tak se snižuje celková suma slunečního záření dopadajícího na zemský povrch. Naproti tomu vítr přicházející do pánve z nechráněné strany nabírá často na větší intenzitě v důsledku rovinného terénu a absence větších přírodních překážek v pánvi.

Pro prezentaci dlouhodobých klimatických podmínek regionu jsem zvolil dostupné údaje z meteostanice Tušimice nacházející se přibližně 20 km jihozápadně od Mostu. Měření na této stanici probíhá od roku 1978. Stanice se nachází přibližně ve stejné nadmořské výšce a stále spadá do podkrušnohorské pánevní oblasti. Pro názornost v **Tab. 1** u průměrných měsíčních teplot přidávám jednotné hodnoty dle TNI 73 0330<sup>8</sup>. Tyto hodnoty jsou obecně platné pro celou Českou republiku a mají za cíl srovnání kvality stavebního řešení bytových

---

<sup>8</sup> Technická normalizační informace

domů bez ohledu na místní podmínky. Jedná se o porovnávání v rámci nízkoenergetických a pasivních domů informativního, nikoli závazného charakteru [10].

Tab. 1 Klimatické podmínky mosteckého regionu [11] [12] [13]

<b>Průměrná roční teplota vzduchu</b>	<b>8,9 °C</b>	
		Dle TNI 73 0330
Průměrná teplota vzduchu v lednu	-0,2 °C	-1,0 °C
Průměrná teplota vzduchu v únoru	0,7 °C	1,0 °C
Průměrná teplota vzduchu v březnu	4,4 °C	4,0 °C
Průměrná teplota vzduchu v dubnu	9,0 °C	9,0 °C
Průměrná teplota vzduchu v květnu	13,7 °C	14,6 °C
Průměrná teplota vzduchu v červnu	16,5 °C	17,0 °C
Průměrná teplota vzduchu v červenci	18,5 °C	18,2 °C
Průměrná teplota vzduchu v srpnu	18,1 °C	18,8 °C
Průměrná teplota vzduchu v září	13,8 °C	13,8 °C
Průměrná teplota vzduchu v říjnu	8,7 °C	9,4 °C
Průměrná teplota vzduchu v listopadu	3,7 °C	4,0 °C
Průměrná teplota vzduchu v prosinci	0,2 °C	-0,5 °C
Nadmořská výška města Most/bytového domu	230 m. n. m./282,7 m. n. m. (1. nadzemní patro)	
Průměrné roční srážky	501 mm	
Průměrná rychlost větru v 10 metrech nad zemí	2,5 m/s	
<b>Výpočtová venkovní teplota - ČSN 73 0540-3</b>	<b>-15 °C</b>	
Počet dnů topného období <sup>9</sup> (pro teplotu 13 °C)	233	
Průměrná teplota v topném období	4,1 °C	
Průměrná roční suma energie slunečního záření dopadající na vodorovnou plochu	1000 kWh/m <sup>2</sup>	

V **Tab. 1** se objevuje termín výpočtová venkovní teplota, podle které se dimenzují otopné soustavy. Udává hodnotu nejnižšího pětidenního průměru teplot na daném území. Nebylo by vhodné brát za základ např. nejnižší naměřenou teplotu, protože by zbytečně docházelo k předdimenzování otopných soustav. Kromě faktu, že takové teplotní extrém jsou ojedinělé, pak obálka budovy má určité akumulární schopnosti, které krátkodobě zmírňují vliv teplotních extrémů [12].

<sup>9</sup> Topné období začíná 1. září a končí 31. května dalšího roku. Dodávky tepelné energie v topném období se spouštějí ve chvíli, kdy průměrná denní teplota vzduchu poklesne pod 13 °C ve dvou po sobě jdoucích dnech a nelze předpokládat dle předpovědi její zvýšení nad 13 °C pro další den. Opačně se postupuje v případě konce dodávek [14].

## 2.2 Technické informace o objektu

Kvůli těžbě hnědého uhlí byl zbourán v průběhu 60., 70. a 80. let minulého století starý Most. Bylo tak potřeba vybudovat velké množství bytů v novém městě za poměrně krátký časový úsek. K tomu se využilo typizovaných panelových domů, mezi něž spadá i dům, který je předmětem této bakalářské práce.

Bytový dům byl postaven na počátku 70. let. Jde o krajskou variantu celostátního typu T 08 B s 8 nadzemními podlažími. Budova je rozdělena na pět sekcí (vchodů) a celkem se v ní nachází 115 bytů, z toho 80 je s dispozicí 3+1, 35 pak 2+kk. Mimo to je budova dále rozdělena na dvě části oddělené dilatační spárou. V **Tab. 2** jsou pak uvedeny nejdůležitější rozměry budovy vycházející z projektové dokumentace **Př. E. 1**, další potřebné údaje lze vyhledat v **Tabulce A. 3**.

Tab. 2 Důležité rozměry budovy

Rozpon <sup>10</sup>	6 m
Hloubka objektu	12 m
Konstrukční výška podlaží	2,8 m
Světlá výška podlaží	2,55 m
Celková délka objektu	90,65 m

Základní konstrukce obvodového pláště domu je řešena jako železobetonová sendvičová s izolantem v podobě polystyrenu. Původní střecha je pak dvouplášťová, její tepelnou izolaci tvoří plynosilikátové panely velikosti 600/160/25 cm, které jsou položeny na heraklitové pásky tloušťky 3,5 cm a šířky 16 cm do cementové malty. To vše je umístěné na dolní vrstvě ze železobetonu. Zásadní roli při počítání tepelných ztrát budou mít tloušťky použitých panelů, následuje proto jejich výčet<sup>11</sup>:

- Průčelní panely obvodového pláště - 230 mm (90-80-60)
- Štítové panely obvodového pláště - 300 mm (155-80-65)
- Lodžiové stěnové panely - 200 mm (100-40-60)
- Stěnové panely nadzemních podlaží - 200 mm (monolitické)
- Obvodové i příčné stěny montážního podlaží – 250 mm (monolitické)

<sup>10</sup> Vzdálenost mezi osami podpor (v tomto případě vzdálenost příčných nosných stěn).

<sup>11</sup> V závorce je uvedena tloušťka sendvičové struktury v mm v pořadí železobeton-polystyren-železobeton směrem z interiéru do exteriéru.

- Stropy podlaží – 200 mm (dutinové)

Všechny byty s dispozicí 3+1 mají vlastní lodžii s jednotnou šířkou 5,8 m. Oproti obvodovému plášti jsou pak předsazené o 1,2 m [15].

Dlouhou dobu na objektu nedošlo k žádným stavebním úpravám, to se změnilo až s rokem 2002, kdy se celý panelový dům zastřešil sedlovou střechou s krytinou ve formě bitumenových vlnitých desek. V roce 2006 pak proběhla výměna původních dřevěných oken za okna plastová včetně výměny meziokenních izolačních vložek (dále jen „MIV“). Technické parametry oken a MIV lze najít v elektronických přílohách **Př. E. 2** a **Př. E. 3**. Celá rekonstrukce domu byla dokončena v roce 2012, ve kterém se uskutečnilo kompletní zateplení obálky objektu. Při celkovém zateplení se přistoupilo i k dodatečné izolaci střechy položením dvou vrstev skelné minerální vlny o tloušťce 10 cm.



*Obr. 1 Současný stav*

Obálka budovy byla zateplena pomocí vnějšího tepelně izolačního systému Baumit Pro, jehož základem je expandovaný polystyren EPS-F tloušťky 120 mm a 30 mm (pro ostění) jako tepelný izolant. Ve výšce nad 12 m a v požárních pásech je pak využito minerálních desek s kolmým vláknem opět tloušťky 120 mm a 30 mm. Zateplení soklu do výšky 50 cm nad terénem se uskutečnilo extrudovaným polystyrenem XPS o tloušťce 120 mm. Zateplení štítů proběhlo již s výměnou oken, a proto je zde použit expandovaný polystyren jiné tloušťky, konkrétně 100 mm. Aktuální stav objektu je zřejmý z **Obr. 1** pro doplnění jsou další fotografie

přiloženy v přílohách (**Obr. B 1 - Obr. B 3**), technické listy použitých materiálů na zateplení lze vyhledat v elektronických přílohách **Př. E. 4 a Př. E. 5**.

Současná plastová okna jsou izolační dvojskla 4/16/4<sup>12</sup> s měkce pokovenou vnější stranou vnitřního skla. Parapety jsou vyrobeny z eloxovaného hliníku s přesahem 40 mm pro správnou funkci izolace v oblasti oken. Použité MIV obsahují minerální vatu Rockwool Airock SL plnící izolační funkci a po zateplení jsou stejně jako zbytek obálky překryty navíc polystyrenem či minerální vatou.

Objekt se nachází na kraji městské zástavby a není proto chráněn dalšími budovami. Průčelí bytového domu je orientováno na severozápad, směrem k centru města. Dům je napojen na centrální zásobování teplem (dále jen „CZT“) z komořanské teplárny a energetická spotřeba není v současné době ani zčásti kryta žádným vysoce účinným alternativním systémem<sup>13</sup>. Výměňiková stanice zajišťující napojení na CZT se nachází mimo objekt a regulace topné vody je ekvitermní, tedy závislá na venkovní teplotě. V současné době je předávání tepla do místností řešeno pomocí starších žebrových litinových otopných těles, která jsou opatřena termostatickými ventily s automatickými termoregulačními hlavicemi.

---

<sup>12</sup> Číselné hodnoty udávají popořadě: tloušťku vnitřní skleněné tabule, tloušťku vzduchové mezery, tloušťku vnější skleněné tabule v mm.

<sup>13</sup> Vysvětlení viz oddíl 1.1.

### 3 Výpočet tepelných ztrát

Výpočet tepelných ztrát budovy, tedy množství tepla přecházející z vnitřního prostředí budovy do vnějšího prostředí, představuje základní úkon, jež je třeba provést při vytváření PENB. Na velikost tepelných ztrát se rovněž dimenzuje výkon otopné soustavy tak, aby se v interiéru udržela požadovaná teplota důležitá pro tepelnou pohodu osob.

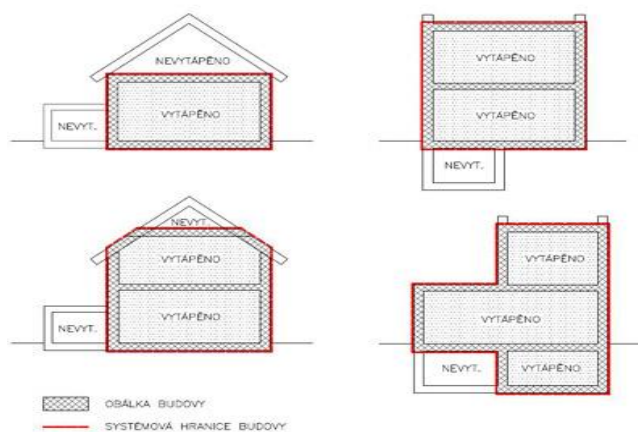
Pro zachování přehlednosti a návaznosti na použité zdroje je značení jednotlivých veličin shodné se značením v normách. Pouze pokud by mohlo dojít k záměně, je značení změněno. Veškeré výpočty týkající se tepelných ztrát a stanovení celkové energetické náročnosti budovy jsou obsaženy v souboru **Př. E. 6**.

Celkovou tepelnou ztrátu budovy  $\Phi_c$  můžeme stanovit jako součet tepelných ztrát prostupem stěnami  $\Phi_p$  a větráním  $\Phi_v$ , sníženou o stálé tepelné zisky  $\Phi_z$  [16]:

$$\Phi_c = \Phi_p + \Phi_v - \Phi_z \quad (W) \quad (1)$$

#### 3.1 Tepelné ztráty prostupem stěnami

Pro výpočet tepelných ztrát prostupem stěnami je zapotřebí nejprve určit hodnoty součinitelů prostupu tepla  $U$  jednotlivých konstrukcí oddělující klimatizovaný<sup>14</sup> prostor od venkovního prostředí, popř. přilehlého neklimatizovaného prostoru. Všechny takové konstrukce se označují souhrnným názvem jako systémová hranice budovy<sup>15</sup>. Stanovení systémové hranice je názorně zobrazeno na **Obr. 2**.



Obr. 2 Stanovení systémové hranice klimatizované zóny [18]

<sup>14</sup> Vytápěný nebo chlazený prostor.

<sup>15</sup> Dle normy ČSN EN ISO 13790 systémová hranice budovy ohraničuje prostor s vnitřně upravovanými podmínkami (vytápěný prostor). Vychází se z vnějších rozměrů konstrukcí. U dvouplášťových větraných konstrukcí se za vnější rozměr bere vnější povrch vnitřního pláště [17].

K výpočtu  $U$  se má dle vyhlášky č. 78/2013 Sb. využít česká technická norma ČSN 73 0540-4, která poskytuje postupy k několika metodám stanovení součinitele prostupu tepla konstrukce. Pro účely bakalářské práce byla využita metoda ideálního výseku konstrukce nezahrnující vliv tepelných mostů a uvažující jednorozměrné šíření tepla. Vliv tepelných mostů je zahrnut dodatečně zvýšením výsledného součinitele prostupu tepla  $U$ :

$$U = U_{id} + \Delta U_{tbk} \quad (W/m^2K) \quad (2)$$

kde  $U_{id}$  je součinitel prostupu tepla ideálního výseku konstrukce ( $W/m^2K$ ) a  $\Delta U_{tbk}$  je celkové zvýšení součinitele prostupu tepla vlivem všech tepelných mostů v konstrukci ( $W/m^2K$ ).

Součinitel prostupu tepla  $U_{id}$  hodnotí jak vliv samotné konstrukce (bez tepelných mostů), tak i působení k ní přilehlých vzduchových vrstev. Vztah pro jeho výpočet je proto následující:

$$U_{id} = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \quad (W/m^2K) \quad (3)$$

kde  $R$  je tepelný odpor konstrukce ( $m^2 \cdot K/W$ ),  $R_{si}$  odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce ( $m^2 \cdot K/W$ ) a  $R_{se}$  odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce ( $m^2 \cdot K/W$ ).

Hodnoty tepelných odporů při přestupu tepla na vnější či vnitřní straně konstrukce pro výpočet šíření tepla udává následující tabulka:

Tab. 3 Návrhové hodnoty odporu při přestupu tepla na vnější a vnitřní straně konstrukce [19]

Klimatické období	Povrch	Tvar a orientace povrchu konstrukce	$R_{si}, R_{se}$ ( $m^2 \cdot K/W$ )	
Zimní	Vnější ( $R_{se}$ )		0,04	
Zimní, při nadmořské výšce nad 1000 m. n. m.			0,03	
Letní			0,07	
Zimní i letní	Vnitřní ( $R_{si}$ )	Svislý povrch		
		Vodorovný povrch, při tepelném toku	Zdola nahoru	0,10
			Shora dolů	0,17

Pro konstrukci, u které se uvažuje jednorozměrné šíření tepla, lze tepelný odpor  $R$  stanovit jako součet tepelných odporů  $R_j$  jednotlivých vrstev obsažených v dané konstrukci. Tepelný odpor  $j$ -té vrstvy se spočte ze vztahu:

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j} \quad (m^2 K/W) \quad (4)$$

kde  $d_j$  je tloušťka  $j$ -té vrstvy konstrukce (m) a  $\lambda_j$  součinitel tepelné vodivosti materiálu  $j$ -té vrstvy konstrukce stanovený v souladu s ČSN 73 0540-3 či získaný z technického listu k danému materiálu (W/m·K) [19] [20].

Jak bylo uvedeno výše, výsledný tepelný odpor konstrukce skládající se z více vrstev se stanoví jako:

$$R = \sum R_j \quad (m^2 K/W) \quad (5)$$

Zvýšení součinitele prostupu tepla vlivem tepelných mostů v konstrukci se poměrně přesně stanoví z řešení vícerozměrného teplotního pole. Takový postup by byl pro účely bakalářské práce příliš zdlouhavý, a proto bylo využito návrhových hodnot, které poskytuje norma ČSN 73 0540-4. Hodnoty zvýšení součinitele prostupu tepla vlivem přítomnosti tepelných mostů v konstrukci poskytuje následující tabulka.

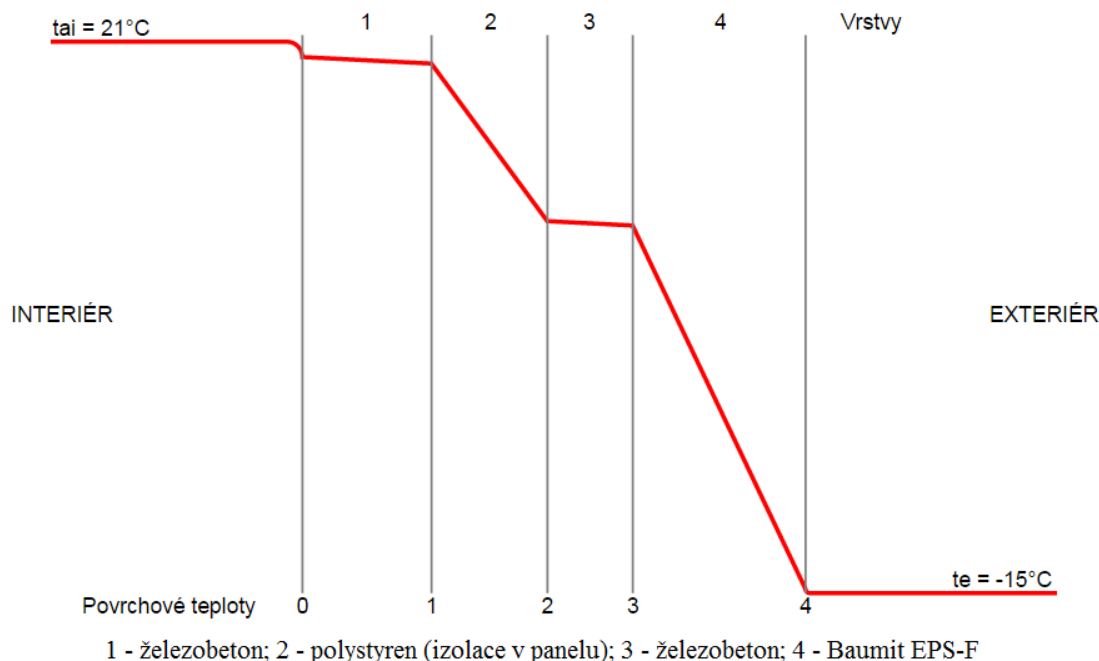
Tab. 4 Návrhové hodnoty zvýšení součinitele prostupu tepla o vliv tepelných mostů

Typ konstrukce	$\Delta U_{tbk}$ (W/m <sup>2</sup> K)
Konstrukce téměř bez tepelných mostů (úspěšně optimalizované řešení)	≈ 0,02
Konstrukce s mírnými tepelnými mosty (typové či opakované řešení)	≈ 0,05
Konstrukce s běžnými tepelnými mosty (dříve standardní řešení)	≈ 0,10
Konstrukce s výraznými tepelnými mosty (zanedbané řešení)	≈ 0,15

Následující graf ukazuje příklad rozložení teplot ve vybrané konstrukci při ustáleném stavu za vnější výpočtové teploty  $\theta_e$  pro příslušnou oblast. V zájmu zachování přehlednosti nejsou zobrazeny tenké vrstvy omítek.

Z **Obr. 3** je patrné, že se snižující se tepelnou vodivostí materiálu roste teplotní spád na dané vrstvě.





Obr. 3 Graf průběhu teplot v konstrukci stěny s EPS-F 120 mm<sup>16</sup> [21]

Veškerý zatím uvedený postup platil pro neprůhledné stavební konstrukce. Součinitel prostupu tepla výplní otvorů (pro jednoduchá okna a dveře) se získá odlišným způsobem a značí se  $U_w$ :

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_p \cdot U_p + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \Psi_g + l_p \cdot \Psi_p}{A_g + A_p + A_f} \quad (W/m^2K) \quad (6)$$

kde  $U_g$  je součinitel prostupu tepla zasklení ( $W/m^2K$ ),  $U_p$  součinitel prostupu tepla neprůsvitné výplně ( $W/m^2K$ ),  $U_f$  součinitel prostupu tepla rámu ( $W/m^2K$ ),  $A_g$  plocha zasklení ( $m^2$ ),  $A_p$  plocha neprůsvitné výplně ( $m^2$ ),  $A_f$  plocha rámu ( $m^2$ ),  $l_g$  celkový viditelný obvod zasklení (m),  $l_p$  celkový viditelný obvod neprůsvitné výplně (m),  $\Psi_g$  lineární činitel prostupu tepla zasklení ( $W/m \cdot K$ ) a  $\Psi_p$  lineární činitel prostupu tepla neprůsvitné výplně ( $W/m \cdot K$ ).

Veličiny obsažené ve vztahu (6) se stanoví v souladu s řadou norem ČSN EN ISO 10077 – Tepelné chování oken, dveří a okenic. Hodnotu  $U_w$  však velmi často uvádí výrobce v technických parametrech k daným výplním otvorů, což je i případ posuzovaného panelového domu. Není tak potřeba uvádět podrobný postup při stanovování jednotlivých veličin, který by byl nad rámec zadání.

<sup>16</sup> Teplota  $\theta_{ai}$  je výpočtová teplota vnitřního vzduchu dle normy ČSN 73 0540-3 a je mírně vyšší než vnitřní výpočtová teplota  $\theta_i$ . Jde o vyrovnání vlivu nižší vnitřní povrchové teploty stavebních konstrukcí v chladném období tak, aby se dodržela vnitřní výpočtová teplota na požadované úrovni [19].

Ze získaných hodnot  $U$  všech prvků obálky lze posléze stanovit průměrného součinitele prostupu tepla budovy  $U_{em}$ . Nejprve je však třeba určit měrnou ztrátu prostupem tepla  $H_T$  celé budovy. Ta se stanoví jako:

$$H_T = \sum (A_j \cdot U_j \cdot b_j) + A \cdot \Delta U_{t_{bm}} \quad (W/K) \quad (7)$$

kde  $A_j$  je plocha  $j$ -té teplosměnné konstrukce na systémové hranici budovy ( $m^2$ ),  $A$  plocha všech teplosměnných konstrukcí na systémové hranici budovy ( $m^2$ ),  $U_j$  součinitel prostupu tepla  $j$ -té konstrukce včetně tepelných mostů,  $b_j$  činitel teplotní redukce  $j$ -té konstrukce (-) a  $\Delta U_{t_{bm}}$  průměrný vliv tepelných vazeb mezi ochlazovanými konstrukcemi na systémové hranici budovy ( $W/m^2K$ ).

Podobně jako u zvýšení součinitele prostupu tepla vlivem tepelných mostů v konstrukci jsou k dispozici návrhové hodnoty uvažující vliv tepelných vazeb mezi jednotlivými konstrukcemi, viz **Tab. 5**. Tepelné mosty a tepelné vazby se často obecně označují společným názvem pouze jako „tepelné mosty“. Norma ČSN 73 0540-4 tyto termíny odděluje a tepelnými vazbami uvažuje vliv vzájemného působení konstrukcí na jejich rozhraní.

Tab. 5 Návrhové hodnoty zvýšení průměrného součinitele prostupu tepla o vliv tepelných vazeb

Typ budovy	$\Delta U_{t_{bm}}$ ( $W/m^2K$ )
Budovy s důsledně optimalizovanými tepelnými vazbami	$\approx 0,02$
Budovy s mírnými tepelnými vazbami (typové či opakované řešení)	$\approx 0,05$
Budovy s běžnými tepelnými vazbami (standardní řešení)	$\approx 0,10$
Budovy s výraznými tepelnými vazbami (zanedbané řešení)	$\approx 0,20$

Činitelem teplotní redukce  $b_j$  obsaženém ve vzorci (7) je zohledňován rozdíl mezi venkovní teplotou a teplotou v neklimatizovaném prostoru, který přiléhá k počítané klimatizované zóně. Jedná se např. o nevytápěné sklepy či půdy. Pokud uvažovaná konstrukce odděluje přímo klimatizovaný prostor od venkovního prostředí, činitel  $b_j$  nabývá hodnoty 1. Pro ostatní případy se snadno stanoví ze vztahu:

$$b_j = \frac{\theta_i - \theta_u}{\theta_{ie}} \quad (-) \quad (8)$$

kde  $\theta_i$  je návrhová vnitřní teplota ( $^{\circ}C$ ),  $\theta_u$  teplota v přilehlém neklimatizovaném prostoru ( $^{\circ}C$ ) a  $\theta_{ie}$  rozdíl teplot vnitřního (klimatizovaného) a venkovního prostředí (K).

Pro výpočet se rovněž dají využít návrhové hodnoty uvedené v ČSN 73 0540-3, které jsou uvedeny v následující tabulce. Vybrány byly pouze případy redukčních činitelů využité pro výpočet v rámci práce.

Tab. 6 Návrhové hodnoty činitelů teplotní redukce [19]

Typ konstrukce	Činitel teplotní redukce $b_j$ (-)
<i>Konstrukce k venkovnímu prostředí</i>	
Výplně otvorů (okna, dveře apod.) <sup>17</sup>	1,00
Střechy; stropy nad venkovním prostředím; stěny vnější; lehké obvodové pláště	1,00
<i>Konstrukce přilehlé k nevytápěnému prostoru</i>	
Půda, podstřešní prostor, při střeše – neizolované, netěsněné	0,83
Suterén nebo technické podlaží - odvětrané	0,57

Při znalosti měrné tepelné ztráty prostupem tepla celé budovy  $H_T$  se již může přikročit k výpočtu průměrného součinitele prostupu tepla budovy  $U_{em}$ :

$$U_{em} = \frac{H_T}{A} \quad (W/m^2K) \quad (9)$$

S využitím získaných hodnot z dosavadních výpočtů lze již stanovit tepelné ztráty prostupem stěnami  $\Phi_p$  pro návrhovou vnější teplotu, což poslouží jako podklad k dimenzování otopné soustavy s tepelným čerpadlem. Tepelná ztráta prostupem stěnami  $\Phi_p$  při znalosti měrné tepelné ztráty  $H_T$  se získá jednoduše ze vztahu:

$$\Phi_p = H_T (\theta_i - \theta_e) \quad (W) \quad (10)$$

kde  $\theta_e$  je vnější výpočtová teplota (°C), konkrétně v tomto případě pro oblast Mostecka<sup>18</sup> - 15 °C [17] [19] [23].

Výstupní hodnoty důležitých veličin pro hodnocenou budovu, které se spočetly v rámci tohoto oddílu, poskytuje **Tab. 7**.

Tab. 7 Vypočtené veličiny týkající se tepelných ztrát prostupem stěnami hodnocené budovy

Měrná tepelná ztráta prostupem tepla	$H_T$	4 311,78 W/K
Tepelná ztráta prostupem stěnami	$\Phi_p$	150 912 W
Průměrný součinitel prostupu tepla	$U_{em}$	0,60 W/m <sup>2</sup> K

<sup>17</sup> V návrhových hodnotách dle normy ČSN 73 0540-3 se pro výplně otvorů uvažuje činitel teplotní redukce 1,15. Od roku 2011 se dle normy ČSN 73 0540-2 již navýšení o 15 % nemá uplatňovat [22].

<sup>18</sup> Dle normy ČSN 73 0540-3 je město Most zařazeno do teplotní oblasti 2 [19].

### 3.2 Tepelné ztráty větráním

Při stanovování tepelných ztrát větráním se postupuje obdobně jako v případě tepelných ztrát prostupem stěnami. Je rovněž nutné určit měrný tepelný tok větráním, značený  $H_V$ , jenž se stanoví ze vztahu [24]:

$$H_V = \rho_a c_p \dot{V} \quad (W/K) \quad (11)$$

kde  $\rho_a c_p$  je objemová tepelná kapacita vzduchu<sup>19</sup> ( $J/m^3 \cdot K$ ) a  $\dot{V}$  je objemový tok vzduchu klimatizovaným prostorem ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ).

Hodnocená budova není vybavena centrálním systémem s nuceným oběhem vzduchu, a proto větrání probíhá pouze přirozeně. Jelikož se v současné době klade důraz především na tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí, dosahují moderní izolační okna a dveře velmi nízké spárové průvzdušnosti. V důsledku tak nelze zajistit z hygienického hlediska dostatečnou intenzitu větrání pouze přirozeným větráním infiltrací okenními spárami, případně dalšími netěsnostmi ve vnější obálce u rekonstruovaných staveb. Dochází proto k výskytu vyšších koncentrací škodlivin v obytných prostorech budovy včetně zvýšené vlhkosti vedoucí ke vzniku plísní. Vzhledem k takové situaci je často zapotřebí instalovat dodatečné systémy větrání, nejlépe s nuceným oběhem vzduchu.

V době, kdy jsou místnosti užívány, musí pro intenzitu větrání místnosti<sup>20</sup>  $n$  ( $h^{-1}$ ) platit:

$$n \geq n_N \quad (12)$$

kde  $n_N$  je požadovaná intenzita větrání užívané místnosti ( $h^{-1}$ ). Zároveň však v otopném období musí být splněno [22]:

$$n \leq 1,5 \cdot n_N \quad (13)$$

Hygienické požadavky na větrání obytných budov stanovuje norma ČSN EN 15665/Z1 a jsou nadřazené požadavkům na úspory energie. Tyto požadavky jsou shrnuty v **Tab. 8**.

<sup>19</sup> Dosazují hodnotu  $1\,300\, J/m^3 \cdot K$ .

<sup>20</sup> Intenzita větrání udává, kolikrát za hodinu se v místnosti vymění všechen vzduch.

Tab. 8 Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15665/Z1 [25]

Požadavek	Trvalé větrání (průtok venkovního vzduchu)	
	Intenzita větrání $n$ ( $\text{h}^{-1}$ )	Dávka venkovního vzduchu na osobu ( $\text{m}^3/\text{h}$ )
Minimální hodnota	0,3	25
Doporučená hodnota	0,5	15

Objemový tok vzduchu se z intenzity větrání vypočte následovně:

$$\dot{V} = \frac{n}{3600} V_i \quad (\text{m}^3 \text{s}^{-1}) \quad (14)$$

kde  $V_i$  je vnitřní objem uvažovaného prostoru ( $\text{m}^3$ ).

Pro porovnání hygienických požadavků s výměnou vzduchu pouze spárami oken a dveří, za předpokladu, že by obyvatelé domu dostatečně nevětrali, jsem použil dnes již neplatnou normu<sup>21</sup> ČSN 06 0210. Dle této normy se objemový tok větracího vzduchu stanoví jako:

$$\dot{V} = \sum (i_{LV} \cdot L) \cdot B \cdot M \quad (\text{m}^3 \text{s}^{-1}) \quad (15)$$

kde  $i_{LV}$  je součinitel spárové průvzdušnosti ( $\text{m}^3/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}^{0,67})$ ),  $L$  délka spár otevíratelných částí oken a venkovních dveří (m),  $B$  charakteristické číslo budovy ( $\text{Pa}^{0,67}$ ) a  $M$  charakteristické číslo místnosti (-).

Součet součinů  $\sum (i_{LV} \cdot L)$  se vztahuje na okna a venkovní dveře na návětrné straně budovy. U prostorů s okny v protilehlých konstrukcích se za návětrnou stranu uvažuje ta strana, pro kterou má  $\sum (i_{LV} \cdot L)$  větší hodnotu. Charakteristické číslo místnosti se poté volí jako  $M = 1$ .

Charakteristické číslo budovy se stanoví s ohledem na krajinnou oblast, ve které se budova nachází. Norma rozlišuje dle intenzity větru dva typy oblastí a to normální krajinu a krajinu s intenzivními větry. Charakteristické číslo zahrnuje i polohu budovy v krajině a případné krytí okolní zástavbou. Na základě informací o poloze hodnocené budovy uvedených v **oddílu 2.1** se dle

**Tab. 9** zvolí pro tento konkrétní případ  $B = 12$  [12] [26] [27].

<sup>21</sup> Dle současných norem se za objemový tok větracího vzduchu dosazují u přirozeného větrání pouze hodnoty přípustné z hygienického hlediska či jiné návrhové hodnoty (např. uvedené v normě ČSN EN ISO 13789).

Tab. 9 Charakteristické číslo budovy *B*

Krajinná oblast se zřetelem k intenzitě větru	Poloha budovy v krajině	Rychlost větru $w$ ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	Charakteristické číslo budovy <i>B</i> ( $\text{Pa}^{0,67}$ )	
			řadové budovy	osaměle stojící budovy
Normální krajina	chráněná	4	3	4
	nechráněná	6	6	8
	velmi nepříznivá	8	9	12
Krajina s intenzivními větry	chráněná	6	6	8
	nechráněná	8	9	12
	velmi nepříznivá	10	12	16

Při znalosti objemového toku vzduchu klimatizovaným prostorem se již může pokračovat ve výpočtu tepelných ztrát větráním. Vztah pro jejich určení bude obdobný jako u tepelných ztrát prostupem stěnami dle vztahu (10). Tepelné ztráty větráním pro vnější výpočtovou teplotu  $\theta_e$  se proto stanoví následovně [17] [24]:

$$\Phi_v = H_V (\theta_i - \theta_e) \quad (W) \quad (16)$$

Výstupní hodnoty důležitých veličin pro hodnocenou budovu, které se spočetly v rámci tohoto oddílu, poskytuje **Tab. 10**.

Tab. 10 Vypočtené veličiny týkající se tepelných ztrát větráním hodnocené budovy

Vnitřní objem budovy	$V_i$	22 044 $\text{m}^3$
Objemový tok vzduchu vycházející z hygienických požadavků	$\dot{V}$	1,837 $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
Objemový tok vzduchu dle ČSN 06 0210	$\dot{V}$	0,33 $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
Měrná tepelná ztráta větráním (hygienické požadavky)	$H_V$	2 388,13 W/K
Tepelná ztráta větráním	$\Phi_v$	83 584 W

Ze srovnání objemového toku vzduchu požadovaného hygienickými předpisy s objemovým tokem vzduchu vznikajícím pouze infiltrací spárami oken a dveří je vidět, že obyvatelé domu musí dostatečně větrat ke splnění požadavků na kvalitu vzduchu uvnitř budovy.

### 3.3 Tepelné zisky

Za tepelné zisky můžeme označit teplo, které vzniká z jiných zdrojů než z otopné soustavy primárně určené pro vytápění. Takové teplo se může generovat přímo uvnitř počítaného prostoru, pak se jedná o vnitřní tepelné zisky, nebo může dovnitř vstupovat z exteriéru, což jsou v podstatě zisky solární.

#### 3.3.1 Vnitřní tepelné zisky

Mezi vnitřní tepelné zisky se řadí metabolické teplo obyvatel, produkované teplo elektrospotřebičů a osvětlovacími prvky či zisky z rozvodů teplé vody. Chování obyvatelů a vybavení jednotlivých domácností se bude samozřejmě lišit, proto je potřeba tyto zisky odhadnout realisticky a spíše je poddimenzovat. Pro objektivní porovnávání jednotlivých budov mezi sebou jsou zavedeny jednotné hodnoty vnitřních tepelných zisků dle TNI 73 0330, která sjednocuje produkci tepla na hodnotu 100 W za přítomnou osobu a navíc 100 W za každou bytovou jednotku bez ohledu na přítomnost osob. Vnitřní tepelné zisky se pak zjednodušeně spočítají jako:

$$\Phi_{int} = a \cdot 100 + 0,7 \cdot b \cdot 100 \quad (W) \quad (17)$$

kde  $a$  je počet bytů,  $b$  je počet osob (projektovaných osob) a koeficient 0,7 je koeficient přítomnosti osob v domě [13] [28].

Výstupní hodnoty důležitých veličin pro hodnocenou budovu, které se spočetly v rámci tohoto oddílu, poskytuje **Tab. 11**.

Tab. 11 Vypočtené veličiny týkající se vnitřních tepelných zisků

Počet bytových jednotek	$a$	115
Počet projektovaných osob	$b$	340
Celkové vnitřní tepelné zisky	$\Phi_{int}$	35 300 W

#### 3.3.2 Solární zisky

Efektivní využití solárního záření rovněž dokáže snížit potřebu tepla pro vytápění dodaného skrze otopnou soustavu. Podstatnou roli při využívání této energie budou mít použité stavební materiály, vhodně orientované stavební konstrukce či celková orientace budovy. Pro posuzování jednotlivých budov opět existují normové hodnoty energie solárního záření tak, aby byl eliminován vliv oblasti, ve které se budova nachází. Při výpočtu je dále třeba brát v úvahu i stínění okolní zástavbou nebo přírodními překážkami [28].

Výpočet solárních zisků vychází z normy ČSN EN ISO 13790. Hodnoty energie slunečního záření po jednotlivých měsících a pro každou světovou stranu jsou pak převzaty z TNI 73 0330. Protože se solární zisky v průběhu roku mění, je potřeba tyto zisky vypočítat pro každý měsíc zvlášť a stanovit jejich minimum, které se poté přičte jako tepelný zisk při návrhu otopné soustavy.

Solární tepelný tok přes  $k$ -tý prvek obálky budovy je dán rovnicí:

$$\Phi_{sol,k} = F_{sh,ob,k} A_{sol,k} I_{sol,k} - F_{r,k} \Phi_{r,k} \quad (W) \quad (18)$$

kde  $F_{sh,ob,k}$  je korekční činitel stínění pro externí překážky pro solární účinnou sběrnou plochu prvku  $k$  (-),  $A_{sol,k}$  účinná sběrná plocha prvku  $k$  s danou orientací a úhlem sklonu<sup>22</sup> ( $m^2$ ),  $I_{sol,k}$  průměrné sluneční ozáření sběrné plochy prvku  $k$  s danou orientací a úhlem sklonu za časový krok výpočtu ( $W/m^2$ ),  $F_{r,k}$  faktor osálení mezi daným stavebním prvkem a oblohou<sup>23</sup> (-) a  $\Phi_{r,k}$  přídatný tepelný tok v důsledku sálení mezi oblohou a prvkem  $k$  ( $W$ ).

Korekční činitel stínění pro externí překážky obsažený ve vztahu (18) může být vypočten jako:

$$F_{sh,ob,k} = F_{hor,k} \cdot F_{ov,k} \cdot F_{fin,k} \quad (-) \quad (19)$$

kde  $F_{hor,k}$  je částečný korekční činitel stínění pro horizont (-),  $F_{ov,k}$  částečný korekční činitel stínění pro markýzy (-) a  $F_{fin,k}$  částečný korekční činitel pro boční žebra (-).

Vliv stínění horizontem (např. země, stromy, okolní zástavba) závisí na úhlu horizontu<sup>24</sup>, zeměpisné šířce, orientaci, místním klimatu a období vytápění. Pro typické průměrné podnebí severní polokoule příloha G normy ČSN EN ISO 13790 uvádí hodnoty částečného korekčního činitele stínění pro horizont  $F_{hor,k}$  pro tři zeměpisné šířky a čtyři orientace prvku obálky, viz **Tab. 12**. Pro ostatní zeměpisné šířky a orientace může být použita interpolace.

<sup>22</sup>  $A_{sol}$  je rovna ploše černého tělesa o stejném solárním tepelném zisku jako uvažovaná plocha prvku.

<sup>23</sup> Pro nestíněnou horizontální plochu platí  $F_{r,k} = 1$  a pro nestíněnou vertikální plochu  $F_{r,k} = 0,5$ .

<sup>24</sup> Průměrný úhel přes překážky na horizontu pro uvažovaný prvek. Značí se jako  $\alpha$ .



Tab. 12 Částečný korekční činitel stínění pro horizont  $F_{hor}$

Úhel horizontu	45° severní šířky			55° severní šířky			65° severní šířky		
	J	V/Z	S	J	V/Z	S	J	V/Z	S
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10°	0,97	0,95	1,00	0,94	0,92	0,99	0,86	0,89	0,97
20°	0,85	0,82	0,98	0,68	0,75	0,95	0,58	0,68	0,93
30°	0,62	0,70	0,94	0,49	0,62	0,92	0,41	0,54	0,89
40°	0,46	0,61	0,90	0,40	0,56	0,89	0,29	0,49	0,85

Podobně příloha G poskytuje hodnoty částečných korekčních činitelů stínění pro žebra a markýzy, viz **Tab. 13** a **Tab. 14**, jež opět závisejí na zeměpisné šířce, orientaci, místním podnebí a úhlech, které svírají stínící hrany markýzy nebo žebra se středem prvku<sup>25</sup>. Pro mezilehlé hodnoty může být použita interpolace.

Tab. 13 Částečný korekční činitel stínění pro markýzu  $F_{ov}$

Úhel markýzy	45° severní šířky			55° severní šířky			65° severní šířky		
	J	V/Z	S	J	V/Z	S	J	V/Z	S
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,90	0,89	0,91	0,93	0,91	0,91	0,95	0,92	0,90
45°	0,74	0,76	0,80	0,80	0,79	0,80	0,85	0,81	0,80
60°	0,50	0,58	0,66	0,60	0,61	0,65	0,66	0,65	0,66

Tab. 14 Částečný korekční činitel stínění pro žebra  $F_{fin}$

Úhel žebra	45° severní šířky			55° severní šířky			65° severní šířky		
	J	V/Z	S	J	V/Z	S	J	V/Z	S
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,94	0,92	1,00	0,94	0,91	0,99	0,94	0,90	0,98
45°	0,84	0,84	1,00	0,86	0,83	0,99	0,85	0,82	0,98
60°	0,72	0,75	1,00	0,74	0,75	0,99	0,73	0,73	0,98

Hodnoty v **Tab. 14** jsou platné pro žebra na jedné straně. Pro jižně orientované prvky a žebra na obou stranách se dané dva korekční činitele  $F_{fin}$  násobí. Pro východně a západně orientované prvky se korekční činitel stínění uplatní pouze na jižním okraji prvku. Pro žebra na sever orientovaných prvků se částečný korekční činitel neuplatní vůbec.

<sup>25</sup> Úhel markýzy se značí jako  $\alpha$ , úhel žebra pak jako úhel  $\beta$ .



Obr. 4 Znáznornění úhlů stínění jednotlivých překážek [29]

Kvůli odlišnému stanovení účinné sběrné plochy se musí rozlišovat mezi zasklenými prvky a neprůhlednými prvky obálky. V případě zasklených prvků (okna, dveře) se účinná sběrná plocha stanoví jako:

$$A_{sol,k} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w,p} \quad (m^2) \quad (20)$$

kde  $F_{sh,gl}$  je korekční činitel stínění pro pohyblivá stínící zařízení (-),  $g_{gl}$  celková propustnost sluneční energie průhlednými částmi prvku (-),  $F_F$  podíl pohledové plochy rámu k celkové pohledové ploše zaskleného prvku (-) a  $A_{w,p}$  celková pohledová plocha zaskleného prvku ( $m^2$ ).

Jelikož posuzovaná budova nemá nainstalována žádná centrálně ovládaná pohyblivá stínící zařízení, korekční činitel  $F_{sh,gl}$  se v tomto případě neuplatní. Jeho výpočet lze případně nalézt ve zmíněné normě ČSN EN ISO 13790.

Celková propustnost sluneční energie  $g_{gl}$  představuje časově zprůměrovaný podíl energie procházející prvkem k energii dopadající na prvek. Při použití typických hodnot uvedených v příloze G se celková propustnost vypočte jednoduše ze vzorce:

$$g_{gl} = F_w g_n \quad (-) \quad (21)$$

kde  $F_w$  je korekční činitel pro nerozptylující zasklení<sup>26</sup> (-) a  $g_n$  celková propustnost sluneční energie pro záření dopadající kolmo k povrchu za předpokladu čistého povrchu a obvyklého, nepigmentovaného a nerozptylujícího zasklení (-).

Typické hodnoty celkové propustnosti sluneční energie zasklení jsou uvedeny v následující tabulce. Tyto hodnoty se mohou pronásobit dalšími korekčními koeficienty pro různé typy clon umístěné v interiéru nebo v exteriéru. Návrhové hodnoty lze opět dohledat v normě.

<sup>26</sup> Pro výpočet norma uvádí  $F_w = 0,9$  pokud chybějí národní hodnoty.

Tab. 15 Hodnoty propustnosti sluneční energie zasklení pro záření dopadající kolmo k povrchu

Typ zasklení	$g_n$
Jednoduché zasklení	0,85
Dvojsklo	0,75
Dvojsklo se selektivním nízkoemisním povrchem	0,67
Trojsklo	0,7
Trojsklo se selektivním nízkoemisním povrchem	0,5
Zdvojené sklo	0,75

Solární energie získaná z neprůhledných prvků obálky budovy v období vytápění tvoří pouze malou část celkových solárních zisků. Navíc jsou částečně kompenzovány radiačními ztrátami budovy proti jasné obloze. Zisky z neprůhledných prvků však nabývají na významu zejména v létě, kdy ovlivňují tepelnou pohodu v režimu chlazení, a proto by neměly být přehlíženy.

Účinná sběrná plocha neprůhledného prvku obálky budovy je dána rovnicí:

$$A_{sol,k} = \alpha_{S,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \quad (m^2) \quad (22)$$

kde  $\alpha_{s,c}$  je bezrozměrná pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků (-),  $U_c$  součinitel prostupu tepla prvku obálky ( $W/m^2K$ ) a  $A_c$  pohledová plocha prvku obálky ( $m^2$ ).

Pokud počítaný stavební prvek obsahuje vrstvu větranou venkovním vzduchem, pak se tomu musí přizpůsobit i hodnota součinitele prostupu tepla tak, aby byla respektována situace, kdy část takto získaného tepla je odvětrána. V případě posuzované budovy je pro zjednodušení a rezervu ve výpočtu vynechán tepelný zisk ze střechy a větraného podstřešního prostoru úplně.

Přídavný tepelný tok v důsledku sálání vůči obloze pro určitý prvek obálky budovy se stanoví jako:

$$\Phi_r = R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er} \quad (W) \quad (23)$$

kde  $h_r$  je součinitel přestupu tepla sáláním na vnější straně ( $W/m^2K$ ) a  $\Delta\theta_{er}$  průměrný rozdíl venkovní teploty vzduchu a zdánlivé teploty oblohy (K).

Protože výpočet přenosu tepla sáláním k obloze vychází ze Stefan-Boltzmannova zákona, součinitel přestupu tepla sáláním se získá ze vztahu<sup>27</sup>:

$$h_r = 4 \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot (\theta_{ss} + 273)^3 \quad (W/m^2K) \quad (24)$$

kde  $\epsilon$  je emisivita vnějšího povrchu<sup>28</sup> (-),  $\sigma$  je Stefan-Boltzmannova konstanta<sup>29</sup> a  $\theta_{ss}$  aritmetický průměr z teploty povrchu a teploty oblohy (°C).

Norma umožňuje uvažovat  $h_r$  rovno  $5\epsilon$ , což odpovídá průměrné teplotě 10 °C. Za hodnotu průměrného teplotního rozdílu  $\Delta\theta_{er}$  mezi venkovní teplotou vzduchu a zdánlivou teplotou oblohy se může dosadit návrhová hodnota pro oblast mírného pásma 11 K. Stejně jako v případě tepelných zisků neprůhlednými částmi obálky není uvažován ani přídatný tepelný tok v důsledku sálání vůči obloze pro střechu hodnocené budovy [13] [17] [28].

Výsledný tepelný zisk vypočtený jako součet slunečních tepelných toků všech prvků pro hodnocenou budovu (a její jednotlivé strany) a daný měsíc v roce ukazuje **Tab. 16**.

Tab. 16 Solární tepelné zisky v jednotlivých měsících pro hodnocenou budovu (ve W)

Měsíc	SZ – přední průčelí	JV – zadní průčelí	SV - štít	JZ - štít	Celkem
Leden	3 919	14 456	49	344	<b>18 768</b>
Únor	7 831	20 631	169	463	<b>29 094</b>
Březen	13 560	29 240	333	649	<b>43 782</b>
Duben	18 818	38 303	531	771	<b>58 423</b>
Květen	27 444	44 025	842	858	<b>73 169</b>
Červen	28 632	45 731	1 242	962	<b>76 567</b>
Červenec	28 461	42 108	1 003	1 034	<b>72 606</b>
Srpen	23 709	41 265	794	1 070	<b>66 838</b>
Září	15 231	34 059	372	771	<b>50 433</b>
Říjen	8 932	20 206	156	601	<b>29 895</b>
Listopad	3 675	9 870	29	240	<b>13 814</b>
Prosinec	2 762	8 707	14	173	<b>11 656</b>

Z tabulky je patrné, že nejmenší hodnotu mají solární tepelné zisky v prosinci. Tato hodnota se tak dosadí do vzorce (1). Po dosazení tepelných ztrát postupem stěnami a větráním, stejně tak po připočtení vnitřních tepelných zisků se získá celková tepelná ztráta

<sup>27</sup> Jedná se o aproximaci.

<sup>28</sup> Návrhové hodnoty emisivity povrchu různých materiálů se dají nalézt v příloze A normy ČSN 73 0540-3.

<sup>29</sup>  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$

budovy při vnější výpočtové teplotě pro danou oblast. Hodnota celkových tepelných ztrát pro návrh otopného systému hodnocené budovy je:

Tab. 17 Celkové tepelné ztráty pro návrh otopného systému hodnocené budovy

<b>CELKOVÉ TEPELNÉ ZTRÁTY</b>	<b>187 541 W</b>
-------------------------------	------------------

## 4 Celková energetická náročnost bytového domu

Energetická náročnost budovy se stanovuje za pomoci ukazatelů energetické náročnosti, které jsou dány vyhláškou č. 78/2013 Sb<sup>30</sup>. Jelikož je tato práce zaměřená na návrh systému vytápění, popř. přípravy teplé užitkové vody (dále jen „TUV“) a ne na vypracování PENB, bude kladen důraz zejména na výpočet potřeby tepla budovy právě pro vytápění a přípravu TUV.

U každého ukazatele energetické náročnosti je potřeba zdvojit výpočet jeho referenční hodnoty. Je to dáno faktem, že posuzovaná budova není nová, resp. vyhodnocení energetické náročnosti se nevykonává z důvodu stavby nové budovy. Pro potřebu kontroly splnění požadavku na jednotlivé energetické ukazatele se pracuje s takovými referenčními hodnotami, které souvisejí s účelem vypracování PENB, v tomto konkrétním případě se tak jedná o referenční budovu dokončenou. Avšak pro potřebu zařazení do jednotlivých energetických klasifikačních tříd se má jednotně využívat referenčních hodnot pro novou budovu a to při jakémkoli účelu vypracování PENB. Klasifikační třídy jsou tak společné pro jakýkoli typ budovy a jejich porovnávání je přehlednější a snazší [7].

### 4.1 Průměrný součinitel prostupu tepla

Průměrný součinitel prostupu tepla u hodnocené budovy  $U_{em}$  byl již stanoven v rámci **oddílu 3.1** a je uveden v **Tab. 7**. Nyní je potřeba stanovit i průměrný součinitel prostupu tepla pro referenční budovu  $U_{em,R}$ . Výpočet se provede obdobně jako u hodnocené budovy s tím rozdílem, že hodnoty součinitelů prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici jsou zadány normou a to konkrétně normou ČSN 73 0540-2. Vztah pro určení  $U_{em,R}$  vypadá následovně:

$$U_{em,R} = f_R \cdot \left[ \sum (U_{N,j} \cdot A_j \cdot b_j) / \sum A_j + \Delta U_{em,R} \right] \quad (W/m^2K) \quad (25)$$

kde  $f_R$  je redukční činitel požadované základní hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla (-),  $U_{N,j}$  normová požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla  $j$ -té teplosměnné konstrukce ( $W/m^2K$ ) a  $\Delta U_{em,R}$  přírážka na vliv tepelných vazeb ( $W/m^2K$ ).

Vztah (25) platí pro jednozónovou budovu, což je i případ hodnoceného bytového domu. Jak hodnoty  $U_{N,j}$ , tak i  $U_{em,R}$  platí pro převažující návrhovou vnitřní teplotu 20 °C (resp.

<sup>30</sup> Ukazatele jsou vyjmenovány v § 3 odst. 1.

pro hodnoty v intervalu 18 °C až 22 °C včetně). Bytový dům je pro tuto hodnotu navržen a není třeba přepočtu na jinou vnitřní návrhovou teplotu pomocí vztahu uvedeném v příloze 1 vyhlášky č. 78/2013 Sb. Přirážka na vliv tepelných vazeb je stanovena jednotně pro všechny budovy  $\Delta U_{em,R} = 0,02 \text{ W/m}^2\text{K}$ , tedy dle **Tab. 5** se používá přirážka minimální, což má vést k optimalizaci systémových řešení při projektování nových budov. Hodnoty teplotních redukčních činitelů  $b_j$  se stanoví stejně jako u hodnocené budovy. Redukční činitel  $f_R$  pak může nabývat tři referenčních hodnot a to 1 pro dokončenou budovu a její změnu; 0,8 pro novou budovu a 0,7 pro budovu s téměř nulovou spotřebou energie [7].

Následující tabulka ukazuje normové požadované hodnoty součinitele prostupu tepla  $U_N$ , které byly využity pro výpočty posuzované budovy.

Tab. 18 Požadované a doporučené hodnoty součinitelů prostupu tepla pro budovy s převažující vnitřní návrhovou teplotou v intervalu od 18 °C do 22 °C [22]

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )	
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$
Stěna vnější	0,30	těžká: 0,25
		lehká: 0,20
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,50	1,20
Strop pod nevytápěnou půdou (střecha bez tepelné izolace)	0,30	0,20
Dveřní výplň otvoru z vytápěného do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,70	1,20
Strop a stěna (podlaha) z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40

Pro docílení optimálního systémového řešení vyhláška č. 73/2013 Sb. také určuje maximální požadované hodnoty referenčního průměrného součinitele prostupu tepla, aby bylo skutečně dosaženo nízké spotřeby energie. Maximální přípustné hodnoty opět pro vnitřní návrhovou teplotu v intervalu 18 °C až 22 °C včetně jsou obsaženy v **Tab. 19**. V této tabulce se vyskytuje podíl  $A/V_z$ , což je tzv. objemový faktor tvaru, který dává do poměru teplosměnnou plochu obálky zóny A (plochu systémové hranice) a objem zóny budovy stanovený z vnějších rozměrů  $V_z$  ( $\text{m}^3$ ) [7].

Tab. 19 Maximální požadované hodnoty referenčního průměrného součinitele prostupu tepla [7]

		Maximální požadované hodnoty $U_{em,R,max}$ (W/m <sup>2</sup> K)
Nové obytné budovy		0,50
Ostatní budovy	Pro $A/V_z \leq 0,2$	1,05
	Pro $A/V_z > 1,0$	0,45
	Pro ostatní hodnoty $A/V_z$	$0,30 + 0,15/(A/V_z)$

Výsledky vypočtené v rámci tohoto oddílu poskytuje **Tab. 20**. Ze získaných hodnot vyplývá, že průměrný součinitel prostupu tepla referenční budovy je menší než maximální přípustná hodnota a tedy podmínka daná vyhláškou č. 78/2013 Sb. je splněna. Rovněž má hodnocená budova průměrný součinitel prostupu tepla menší než budova referenční, a tak je splněn i požadavek na energetický ukazatel náročnosti.

Tab. 20 Přehled důležitých údajů vztahujících se k průměrnému součiniteli prostupu tepla ref. budovy

Teplosměnná plocha obálky	$A$	7 153,73 m <sup>2</sup>
Objem zóny budovy	$V_z$	27 020,06 m <sup>3</sup>
Objemový faktor tvaru	$A/V_z$	0,26 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Průměrný součinitel prostupu tepla referenční budovy - dokončené	$U_{em,R}$	0,62 W/m <sup>2</sup> K
Průměrný součinitel prostupu tepla referenční budovy - nové	$U_{em,R}$	0,49 W/m <sup>2</sup> K
Maximální požadovaný součinitel prostupu tepla referenční budovy	$U_{em,R,max}$	0,87 W/m <sup>2</sup> K

## 4.2 Dílčí dodané energie pro technické systémy

Dílčí dodané energie se vypočítají jako součet vypočtené spotřeby energie daného technického systému a pomocných energií na provoz tohoto systému za období jednoho roku. Ve vypočtené spotřebě energie je kromě samotné potřeby zahrnuta již i účinnost všech částí systémů. V posuzované budově se hodnotí systém vytápění, přípravy TUV a osvětlení.

### 4.2.1 Vytápění

K vypočtení potřeby tepla na vytápění se opět využije normy ČSN EN ISO 13790 a lze tak vycházet ze vztahů a výsledků **kapitoly 3**. Za výpočtový krok byl zvolen jeden měsíc, je tak potřeba znát venkovní teplotu v daném měsíci, solární zisky i délku trvání měsíce, která je stanovena normou.



Tab. 21 Normové hodnoty délky trvání výpočtových kroků

Měsíc	Počet dní	Počet hodin	Měsíc	Počet dní	Počet hodin
Leden	31	744	Červenec	31	744
Únor	28	672	Srpen	31	744
Březen	31	744	Září	30	720
Duben	30	720	Říjen	31	744
Květen	31	744	Listopad	30	720
Červen	30	720	Prosinec	31	744

Potřeba energie na vytápění pro každou zónu budovy a každý krok výpočtu (v případě nepřerušovaného vytápění) se stanoví jako:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn} \quad (kWh) \quad (26)$$

kde  $Q_{H,ht}$  je celkové množství přeneseného tepla (tepelné ztráty) v režimu vytápění (kWh),  $Q_{H,gn}$  celkové tepelné zisky v režimu vytápění (kWh) a  $\eta_{H,gn}$  faktor využitelnosti tepelných zisků (-).

Celkové množství přeneseného tepla pro každou zónu budovy a každý krok výpočtu se vypočte jako:

$$Q_{H,ht} = Q_T + Q_V \quad (kWh) \quad (27)$$

kde  $Q_T$  je celkové množství přeneseného tepla prostupem (kWh) a  $Q_V$  celkové množství tepla přeneseného větráním (kWh).

Celkové množství přeneseného tepla prostupem  $Q_T$  lze stanovit pomocí vzorce (10), kdy se za vnější teplotu  $\theta_e$  dosadí průměrná teplota v daném měsíci dle TNI 73 0330 uvedená v **Tab. 1**. Výsledná hodnota se poté vynásobí délkou trvání měsíce, která je uvedena v **Tab. 21**. Analogicky se pak postupuje u výpočtu celkového množství tepla přeneseného větráním.

Obdobně se celkové tepelné zisky v režimu vytápění stanoví jako:

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad (kWh) \quad (28)$$

kde  $Q_{int}$  je součet vnitřních tepelných zisků za dané období (kWh) a  $Q_{sol}$  součet solárních tepelných zisků za dané období (kWh).

U tepelných zisků je situace ještě jednodušší. Součet vnitřních tepelných zisků  $Q_{\text{int}}$  se pro daný výpočtový krok vypočte pouhým násobením výsledku vztahu (17) s časem trvání určitého měsíce. Pro výpočet  $Q_{\text{sol}}$  se pak použijí výsledky uvedené v **Tab. 16** opět násobené délkou trvání měsíce.

Faktor využitelnosti tepelných zisků pro režim vytápění  $\eta_{H,\text{gn}}$ , jak jeho název napovídá, udává jaké množství tepelných ztrát je kryto prostřednictvím tepelných zisků. O tyto využitelné tepelné zisky pak klesá potřeba tepla pro vytápění. Jeho výpočet se provede pomocí vztahu:

$$\eta_{H,\text{gn}} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}} \quad (-) \quad (29)$$

kde  $\gamma_H$  je bilanční poměr pro režim vytápění (-) a  $a_H$  číselný parametr (-). Uvedený vzorec platí za předpokladu, že  $\gamma_H > 0$  a zároveň  $\gamma_H \neq 1$ , což pro hodnocený bytový dům platí vždy.

Pro každou zónu a každý výpočtový krok se bilanční poměr stanoví jako:

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,\text{gn}}}{Q_{H,\text{ht}}} \quad (-) \quad (30)$$

Stanovení číselného parametru  $a_H$  závisí na tepelné setrvačnosti budovy. Je dán rovnicí:

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} \quad (-) \quad (31)$$

kde  $a_{H,0}$  je referenční číselný parametr<sup>31</sup> (-),  $\tau$  časová konstanta zóny budovy (h) a  $\tau_{H,0}$  referenční časová konstanta<sup>32</sup> (h).

Tepelnou setrvačnost klimatizovaného prostoru budovy charakterizuje právě časová konstanta  $\tau$ , která je funkcí vnitřní tepelné kapacity a měrných tepelných toků ztrát postupem a větráním. Vztah pro její určení proto vypadá následovně:

$$\tau = \frac{C_m/3600}{H_T + H_V} \quad (h) \quad (32)$$

kde  $C_m$  je vnitřní tepelná kapacita budovy (J/K). Ta může být stanovena jako součet tepelných kapacit jednotlivých stavebních prvků konstrukcí, jež jsou v přímém kontaktu s vnitřním prostředím nebo se mohou využít orientační hodnoty uvedené v následující tabulce.

---

<sup>31</sup> Pro měsíční výpočtovou metodu nabývá hodnoty 1,0.

<sup>32</sup> Pro měsíční výpočtovou metodu nabývá hodnoty 15 h.

Tab. 22 Orientační hodnoty vnitřní tepelné kapacity<sup>33</sup>

Třída konstrukce	$C_m$ (J/K)
Velmi lehká	80 000 x $A_f$
Lehká	110 000 x $A_f$
Střední	165 000 x $A_f$
Těžká	260 000 x $A_f$
Velmi těžká	370 000 x $A_f$

Nyní jsou k dispozici již všechny potřebné vztahy pro výpočet potřeby tepla pro vytápění za období jednoho roku. Stejným způsobem se vypočte i potřeba tepla pro referenční budovu s tím rozdílem, že se dosadí hodnoty referenčních parametrů uvedené v příloze 1 vyhlášky č. 78/2013 Sb. V následující tabulce tak je uvedena potřeba tepla pro vytápění za rok pro hodnocenou budovu, dokončenou referenční budovu a novou referenční budovu, další hodnoty vypočtené v rámci potřeby tepla pro vytápění lze najít v **Tabulce A.6** až **Tabulce A.11** [7] [17].

Tab. 23 Vypočtené potřeby tepla pro vytápění za rok

Měsíc	Potřeba tepla pro vytápění za rok $Q_{H,nd}$ (kWh)		
	Hodnocená budova	Referenční budova - dokončená	Referenční budova - nová
Leden	64 477	68 931	55 130
Únor	42 429	47 600	36 406
Březen	22 792	30 328	20 600
Duben	2 326	6 807	3 266
Květen	7	154	39
Červen	0	5	1
Červenec	0	0	0
Srpen	0	0	0
Září	83	743	242
Říjen	8 584	13 701	8 189
Listopad	41 889	45 358	35 222
Prosinec	67 262	70 799	57 317
<b>Celkem</b>	<b>249 850</b>	<b>284 426</b>	<b>216 410</b>

Pro výpočet dílčí dodané energie je nutné, kromě potřeby tepla, zjistit i účinnosti technických systémů a dále také pomocné energie potřebné na provoz těchto systémů.

<sup>33</sup>  $A_f$  značí podlahovou plochu zóny.

U referenční budovy jsou účinnosti stanoveny opět jednotně vyhláškou č. 78/2013 Sb. Ze známých účinností a známé potřeby tepla se spotřeba energie na vytápění stanoví jako:

$$Q_{H,dis} = \frac{Q_{H,nd}}{\eta_{H,gen} \cdot \eta_{H,dis} \cdot \eta_{H,em}} \quad (kWh) \quad (33)$$

kde  $\eta_{H,gen}$  je účinnost výroby energie zdrojem tepla (-),  $\eta_{H,dis}$  účinnost distribuce energie na vytápění (-) a  $\eta_{H,em}$  účinnost sdílení energie na vytápění (-).

Účinnosti jednotlivých částí technických systémů se vypočtou podle příslušných technických norem, které jsou zmíněny ve vyhlášce č. 78/2013 Sb. Jelikož výpočet účinností by byl zdlouhavý a přesahoval by tak rozsah této bakalářské práce, budou využity hodnoty stanovené v rámci posudku k PENB, který je uveden jako elektronická příloha **Př. E. 7**. Rovněž hodnoty pomocných energií jsou určeny za pomoci vypracovaného PENB [7].

Tab. 24 Účinnosti jednotlivých částí technického systému vytápění

	Hodnocená budova	Referenční budova
$\eta_{H,gen}$	0,96	0,8
$\eta_{H,dis}$	0,89	0,85
$\eta_{H,em}$	0,9	0,8

Při znalosti potřeby tepla, účinností technického systému a pomocných energií je již jednoduché stanovit dílčí dodanou energii pro systém vytápění. Hodnoty pro hodnocenou i referenční budovu ukazuje následující tabulka.

Tab. 25 Dílčí dodaná energie na vytápění

		Hodnocená budova	Referenční budova - dokončená	Referenční budova - nová
Potřeba tepla na vytápění (kWh)	$Q_{H,nd}$	249 850	284 426	216 410
Vypočtená spotřeba tepla na vytápění (kWh)	$Q_{H,dis}$	324 920	522 841	397 813
Pomocná energie (kWh)	$Q_{H,aux}$	19 960	23 310	23 310
Dílčí dodaná energie na vytápění (kWh)	$EP_H$	<b>344 880</b>	<b>546 151</b>	<b>421 123</b>
Měrná dílčí dodaná energie <sup>34</sup> (kWh/m <sup>2</sup> )	$EP_H/A_{vz}$	<b>37</b>	<b>59</b>	<b>46</b>

<sup>34</sup> Měrná dílčí dodaná energie je dílčí dodaná energie vztažená na 1 m<sup>2</sup> energeticky vztažné plochy  $A_{vz}$ .

## 4.2.2 Příprava TUV

Pro stanovení dílčí dodané energie na přípravu teplé vody se má dle vyhlášky č. 78/2013 Sb. využít norma ČSN EN 15136-3 – Tepelné soustavy v budovách. Jelikož pro hodnocenou budovu jsou známy údaje o spotřebě TUV i o potřebě tepla na přípravu TUV z vyúčtování energií, budou k hodnocení využity právě tyto hodnoty. Za základ se bude brát pětiletý průměr, aby se předešlo situaci, kdy by se za základ vzal rok s extrémem ve spotřebě TUV. Přehled vyúčtování tepla a TUV z roku 2013 lze najít v **Př. E. 8.**

Tab. 26 Spotřeba TUV v hodnocené budově (v m<sup>3</sup>)

2009	2010	2011	2012	2013
3 104,64	3 084,43	3 149,58	3 080,08	2 920,35
<b>Průměr</b>	<b>3 067,82</b>			

Z tabulky je zřejmé, že zateplení provedené v průběhu roku 2012 nemělo na spotřebu TUV výraznější vliv. Mírný pokles je dán spíše snahou obyvatelů šetřit v důsledku zvyšujících se cen TUV.

Fakturované teplo potřebné na přípravu TUV pak vlastně představuje již celkovou dílčí dodanou energii na přípravu TUV, jelikož jsou v něm zahrnuty i ztráty ve výměníku a v rozvodech. Opět jsou k dispozici údaje za období pěti let, které ukazuje následující tabulka:

Tab. 27 Fakturovaná spotřeba tepla na přípravu TUV (v GJ)

2009	2010	2011	2012	2013
1 211,034	1 257,685	1 396,862	1 377,424	1 359,355
<b>Průměr</b>	<b>1 320,47</b>			

Pro stanovení skutečné potřeby tepla pro přípravu TUV je potřeba znát hodnoty účinností jednotlivých částí systému na přípravu a distribuci TUV. Údaje pro hodnocenou budovu byly opět převzaty z posudku k PENB. Pomocná energie je v tomto případě nulová, protože je již zahrnuta do fakturované spotřeby tepla. Dílčí dodaná energie na přípravu TUV pro posuzovaný dům se tak stanoví ze vztahu [7]:

$$EP_W = Q_{W,dis} = \frac{Q_{W,nd} + q_{W,dis} \cdot L_W \cdot d}{\eta_{W,gen}} \quad (kWh) \quad (34)$$

kde  $Q_{W,nd}$  je potřeba tepla pro přípravu TUV (MJ),  $q_{W,dis}$  je měrná tepelná ztráta rozvodů TUV za den (Wh/m·d),  $L_W$  délka rozvodů TUV (m),  $d$  počet dní a  $\eta_{W,gen}$  účinnost zdroje tepla pro přípravu TUV (-).

Tab. 28 Účinnosti a ztráty v jednotlivých částech systému na přípravu TUV

	Hodnocená budova	Referenční budova
$\eta_{W,gen}$	0,96	0,85
$q_{W,dis}$	185	150

Tab. 29 Dílčí dodaná energie na přípravu TUV

		Hodnocená budova	Referenční budova - dokončená	Referenční budova - nová
Potřeba tepla na přípravu TUV (kWh)	$Q_{W,nd}$	284 601	284 601	284 601
Vypočtená spotřeba tepla na přípravu TUV (kWh)	$Q_{W,dis}$	366 798	399 236	399 236
Pomocná energie (kWh)	$Q_{W,aux}$	/	/	/
Dílčí dodaná energie na přípravu TUV (kWh)	$EP_W$	<b>366 798</b>	<b>399 236</b>	<b>399 236</b>
Měrná dílčí dodaná energie (kWh/m <sup>2</sup> )	$EP_W/A_{vz}$	<b>40</b>	<b>43</b>	<b>43</b>

### 4.2.3 Osvětlení

Výpočet dílčí dodané energie na osvětlení se má dle vyhlášky č.78/2013 Sb. provést dle normy ČSN EN 15913 – Energetické hodnocení budov. Protože osvětlení není důležité pro další pokračování bakalářské práce, hodnoty jsou kompletně převzaty z PENB.

Tab. 30 Dílčí dodaná energie na osvětlení

		Hodnocená budova	Referenční budova - dokončená	Referenční budova - nová
Potřeba energie na osvětlení (kWh)	$Q_{L,nd}$	/	/	/
Vypočtená spotřeba energie na osvětlení (kWh)	$Q_{L,dis}$	33 746	33 746	33 746
Pomocná energie (kWh)	$Q_{L,aux}$	/	/	/
Dílčí dodaná energie na osvětlení (kWh)	$EP_L$	<b>33 746</b>	<b>33 746</b>	<b>33 746</b>
Měrná dílčí dodaná energie (kWh/m <sup>2</sup> )	$EP_L/A_{vz}$	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

### 4.3 Celková dodaná energie

Jak už nadpis napovídá, jde o prostý součet dílčích dodaných energií do budovy přes jednotlivé technické systémy. Tato energie se může charakterizovat jako celková energie, která byla dodána přes systémovou hranici budovy a která slouží k zabezpečení typického užívání objektu. Vztah pro výpočet celkové dodané energie za rok pro posuzovanou budovu je proto následující [7]:

$$EP = EP_H + EP_W + EP_L \quad (kWh) \quad (35)$$

Tab. 31 Celková dodaná energie za rok

	Hodnocená budova	Referenční budova - dokončená	Referenční budova - nová
$EP$ (kWh)	745 424	979 134	854 106
$EP/A_{vz}$ (kWh/m <sup>2</sup> )	81	106	93

Z **Tab. 31** je patrné, že celková dodaná energie hodnocené budovy je nižší než u budovy referenční (dokončené), a proto je požadavek na tento ukazatel energetické náročnosti splněn.

### 4.4 Celková primární a neobnovitelná primární energie

Pojem primární energie označuje takovou energii, která neprošla žádným procesem přeměny. Skládá se z obnovitelné a neobnovitelné primární energie a získá se rozdělením celkové dodané energie po jednotlivých energonositelých. Každá část vztahující se k jednomu energonositeli se pak vynásobí příslušným koeficientem, který je uveden v příloze 3 vyhlášky č. 78/2013 Sb. Výsledné součiny se poté sečtou a tím se získá celková primární energie. Ke každému energonositeli je uveden i koeficient pro neobnovitelnou energii, celková neobnovitelná primární energie se tak získá analogicky jako primární energie. Neobnovitelná primární energie představuje jakýsi celkový dopad budovy na životní prostředí a vedle celkové dodané energie je hlavním ukazatelem energetické náročnosti budovy.

Pro hodnocenou budovu přicházejí v úvahu pouze dva energonositelé a to elektřina pro osvětlení a k zajištění provozu technického systému vytápění (provoz čerpadel ve výměňkové stanici – pomocná energie  $Q_{H,aux}$ ) a CZT s menším než 50% podílem obnovitelných zdrojů pro vytápění a přípravu TUV. Následující tabulka zachycuje situaci pro hodnocenou budovu.

Tab. 32 Primární energie hodnocené budovy

	Vypočtená spotřeba energie / pomocná energie	Faktor celkové primární energie	Faktor neobnovitelné primární energie	Celková primární energie	Celková neobnovitelná primární energie
<b>Energonositel</b>	(kWh)	(-)	(-)	(kWh)	(kWh)
Soustava CZT s 50% a nižším podílem obnovitelných zdrojů	691 718	1,1	1,0	760 890	691 718
Elektrina ze sítě	53 706	3,2	3,0	171 859	161 118
<b>Celkem</b>	<b>745 424</b>			<b>932 749</b>	<b>852 836</b>
<b>Celkem (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>81</b>			<b>101</b>	<b>92</b>

Podobně se vypočte primární energie i u referenční budovy, avšak s tím rozdílem, že se stanovuje pouze neobnovitelná primární energie. Navíc faktory neobnovitelné primární energie jsou stanoveny po jednotlivých typech spotřeby a již ne po jednotlivých energonositelých. V následujících tabulkách jsou výsledky pro referenční budovu dokončenou i novou [7].

Tab. 33 Primární neobnovitelná energie referenční budovy - dokončené

	Vypočtená spotřeba energie / pomocná energie	Faktor neobnovitelné primární energie	Celková neobnovitelná primární energie
<b>Typ spotřeby</b>	(kWh)	(-)	(kWh)
Vytápění	522 841	1,1	575 126
Příprava teplé vody	399 236	1,1	439 160
Osvětlení	33 746	3,0	101 238
Pomocné energie	23 310	3,0	69 930
<b>Celkem</b>	<b>979 134</b>		<b>1 185 454</b>
<b>Celkem (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>106</b>		<b>128</b>



Tab. 34 Primární neobnovitelná energie referenční budovy - nové

	Vypočtená spotřeba energie / pomocná energie	Faktor neobnovitelné primární energie	Celková neobnovitelná primární energie
<b>Typ spotřeby</b>	(kWh)	(-)	(kWh)
Vytápění	397 813	1,1	437 595
Příprava teplé vody	399 236	1,1	439 160
Osvětlení	33 746	3,0	101 238
Pomocné energie	23 310	3,0	69 930
<b>Celkem</b>	<b>854 106</b>		<b>1 047 923</b>
<b>Celkem (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>93</b>		<b>114</b>

Z hodnot primární neobnovitelné energie hodnocené a referenční budovy (dokončené) vyplývá, že i požadavek na tento ukazatel energetické náročnosti je splněn, protože hodnota u hodnocené budovy je nižší.

#### 4.5 Zařazení do energetických klasifikačních tříd

Při znalosti hodnot ukazatelů energetické náročnosti hodnocené i referenční budovy může být budova zařazena do příslušných klasifikačních tříd. Hranice jednotlivých tříd jsou uvedeny v příloze 2 vyhlášky č. 78/2013 Sb. Klasifikace posuzované budovy je uvedena v **Tab. 35** [7].

Tab. 35 Zařazení hodnocené budovy do klasifikačních tříd

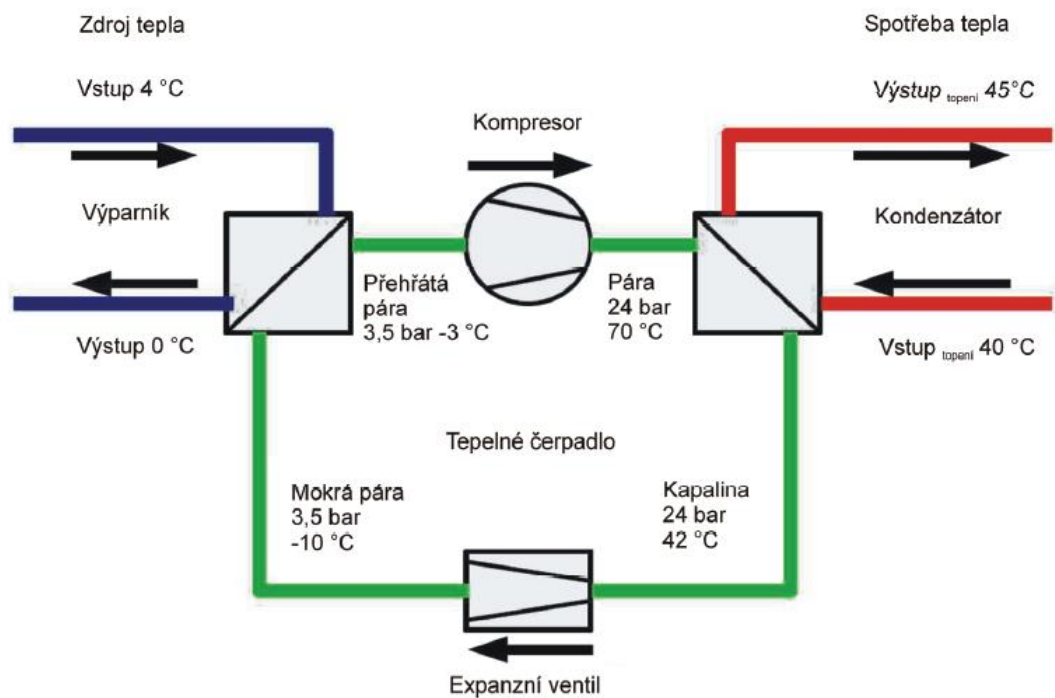
Ukazatel energetické náročnosti	Hodnota ukazatele energetické náročnosti vztahená k referenční hodnotě	Klasifikační třída	Slovní hodnocení
Průměrný součinitel prostupu tepla budovy	1,22 x $E_R$	D	Méně úsporná
Dílčí dodaná energie na vytápění	0,82 x $E_R$	C	Úsporná
Dílčí dodaná energie na přípravu TUV	0,92 x $E_R$	C	Úsporná
Dílčí dodaná energie na osvětlení	1,00 x $E_R$	C	Úsporná
Celková dodaná energie	0,87 x $E_R$	C	Úsporná
Neobnovitelná primární energie	0,81 x $E_R$	C	Úsporná

## 5 Návrh systému vytápění a přípravy TUV

Vzhledem ke stále se zvyšujícím cenám za dodávky tepla a k možnosti odpojit posuzovaný dům v blízké době od CZT by alternativní systém vytápění a přípravy TUV s tepelným čerpadlem mohl přinést další úspory obyvatelům domu. Technologie tepelného čerpadla je v současné době velmi dobře zvládnutá a je prakticky možné jím vybavit jakýkoli bytový dům. Dle umístění domu, jeho prostorového uspořádání a blízkých zdrojů tepla se poté vybere vhodná varianta systému s tepelným čerpadlem.

### 5.1 Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo je zařízení, které funguje na podobném principu jako kompresorová chladnička s tím rozdílem, že jeho cyklus je obrácený. Tepelné čerpadlo odebírá tepelnou energii z prostředí s nižší teplotou a předává ji do prostředí s vyšší teplotou za pomoci hnací, většinou elektrické, energie. Jedná se tak o uzavřený Carnotův cyklus.



Obr. 5 Příklad cyklu tepelného čerpadla [16]

Systém čerpadla obsahuje dva výměníky – výparník a kondenzátor. Ve výparníku dochází k odpařování kapalné teplotonosné pracovní látky za nízkého tlaku. Teplo potřebné k odpařování je získáváno z okolního prostředí, zdrojem nízkopotenciálového tepla<sup>35</sup> může

<sup>35</sup> Takové teplo nelze přímým způsobem využít, jelikož okolní prostředí má většinou nízkou teplotu, a proto je potřeba toto teplo transformovat na vysokopotenciálové.

být voda z vodního toku, podzemní voda, vzduch či země. Jako pracovní médium je tak nutno využívat látky s nízkou teplotou varu, např. fluorované uhlovodíky. Páry pracovní látky poté putují do kompresoru, kde dochází k jejich stlačení, což způsobí i ohřátí plynu. Páry se poté vedou do kondenzátoru, kde kondenzací odevzdávají výparné teplo otopné soustavě. Zkondenzovaná látka se vede přes expanzní ventil, pomocí kterého se sníží tlak na požadovanou hodnotu, zpět do výparníku. Celý cyklus se opakuje.

Část energie se do tepelného cyklu dodává pomocí stlačení par pracovní látky kompresorem, který je nejčastěji poháněn elektrickou energií. Jedná se tak o jediné místo v cyklu tepelného čerpadla, do kterého je potřeba dodávat hnací energii. Většina energie se však získává z okolního prostředí o poměrně nízké teplotě.

U každého tepelného čerpadla se udává tzv. výkonové číslo neboli topný faktor. Topný faktor vyjadřuje, kolikrát více energie se předá do otopného systému při určité dodané hnací energii. Stanoví se proto jako poměr získané tepelné energie a dodané hnací energie z následujícího vzorce<sup>36</sup>:

$$\epsilon = \frac{P_p}{P_d} \quad (-) \quad (36)$$

kde  $P_p$  je výkon předaný do otopného systému (W) a  $P_d$  je dodaný (elektrický) výkon (W).

V současné době se v praxi můžeme setkat s hodnotami topného faktoru tepelného čerpadla v rozmezí 2,5 až 5. Hodnota je závislá na účinnosti kompresoru, na pracovní látce a zejména na rozdílu teplot ve výparníku a kondenzátoru. Čím je rozdíl teplot vyšší, tím nižší je topný faktor. Z toho vyplývá, že pro daný systém s tepelným čerpadlem není hodnota topného faktoru v průběhu provozu konstantní a mění se v závislosti na vnějších provozních podmínkách. S rostoucím topným faktorem je provoz tepelného čerpadla ekonomičtější.

Jelikož dochází k ochlazování okolí výparníku, je potřeba umožnit přístup novému teplu, což způsobuje problémy zejména u tepelných čerpadel s hlubinnými vrty, kdy může dojít k zamrznutí vrtu, který pak není možné dále využívat. Naopak ideální je umístění výparníku v tekoucí vodě. Užité teplo je z kondenzátoru nejčastěji odebíráno vodou otopného systému.

Na trhu v současné době existuje celá řada druhů tepelných čerpadel. Označují se dvouslovným názvem, kde první slovo odpovídá přírodnímu zdroji tepla a druhé nosnému

<sup>36</sup> Často je možné se setkat s označením topného faktoru jako COP z anglického Coefficient of Performance.

médiu pomocí kterého se předává teplo do objektu. Lze se tak setkat s druhy jako vzduch – voda, vzduch – vzduch, země – voda, voda – voda a další. Pro bytové domy se nejčastěji využívá druhu vzduch – voda. Většinou není možné v městské zástavbě realizovat hlubinné vrty nebo jiné rozsáhlé zemní práce a není přítomen ani žádný vodní tok, proto se využívá vzduchu jako zdroje tepla. Naopak voda jako médium pro transport tepla do objektu je využívána z důvodu napojení tepelného čerpadla na již funkční otopnou soustavu, která byla předtím nejčastěji napájena z CZT pomocí teplovodů a horkovodů [16] [30].

U zateplených a rekonstruovaných objektů se často dají využít původní otopná tělesa a to i přesto, že byla původně dimenzována na vyšší teploty topné vody v soustavě. Byla však rovněž dimenzována i na vyšší tepelné ztráty a po zateplení se tak dá využít nižší teploty topné vody dodávané tepelným čerpadlem bez nutnosti investovat do nových těles.

Jelikož popisování jednotlivých druhů tepelných čerpadel by bylo zdlouhavé, zaměřím se pouze na navrhovaný typ vzduch – voda. Výhodou těchto tepelných čerpadel jsou podstatně nižší investice na počátku oproti typu země - voda, protože nevyžadují nákladné zemní práce a úpravy terénu. Předností je pak i flexibilita možného umístění, existují jak venkovní tepelná čerpadla, která se dají situovat na střechu či na bok objektu, tak vnitřní s možností rozmístění ve sklepních prostorech, kočárkárnách či jiných technických místnostech. U vnitřních vzduchových čerpadel je pak nutné vyvést ven jen vzduchotechnickou jednotku, která je s vnitřní jednotkou propojena izolovaným potrubím.

Nevýhodou tepelných čerpadel vzduch - voda je poměrně velký rozdíl ve výkonu mezi zimním a letním obdobím, jelikož jsou silně závislé na teplotě okolního vzduchu. Pokud se teplota venkovního vzduchu zvyšuje, roste i jejich výkon a naopak. Proto je nutné tento druh doplnit náhradním zdrojem tepla a celou soustavu zapojit v bivalentním provozu, což znamená, že při velmi nízkých teplotách je potřeba tepla zajištěna právě náhradním zdrojem. Další nevýhodou je poměrně vysoká hlučnost vzduchových tepelných čerpadel, zejména vzduchotechnické jednotky, jejíž ventilátory musejí nasát větší množství vzduchu, a proto u vnitřního umístění je vhodné dané místnosti odhlučnit. Oproti tepelným čerpadlům země - voda pak mají zhruba o třetinu vyšší provozní náklady [16].



Obr. 6 Tepelné čerpadlo vzduch-voda [16]

## 5.2 Návrh systému pro zvolený objekt

Navržený systém vychází z nabídky firmy Stiebel-Eltron, s. r. o, viz elektronická příloha **Př. E. 9**. Pro posuzovaný dům bylo zvoleno vnitřní tepelné čerpadlo vzduch - voda s označením WPL 23 E s ohledem na výše uvedené přednosti pro bytové domy. V krajních vchodech je nutné umístit tři čerpadla, vnitřní vchody pak budou osazeny dvěma čerpadly, což při počtu pěti vchodů dává dohromady 12 jednotek tepelných čerpadel.

Tepelné čerpadlo WPL 23 E je tedy vhodné pro vnitřní instalaci, veškeré části, které jsou vystaveny povětrnostním vlivům, mají antikorozi povrch. O řízení běhu se stará externí ekvitermní regulátor WPM. Tepelné čerpadlo je schopno pracovat až do teploty  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  venkovního vzduchu a i při takto nízkých teplotách může dodávat topnou vodu o teplotě  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  díky postupnému vstřikování páry. Pracovní látkou je chladivo označované jako R 407 C a systém čerpadla obsahuje i zabudovaný elektrokotel o výkonu 8,8 kW.

Všechna tepelná čerpadla budou pracovat paralelně, pro topný okruh se ohřátá voda povede do jednoho akumulčního zásobníku SBP 700 E o objemu 700 litrů. Odtud se voda rozvede do jednotlivých topných okruhů domu. Díky zateplení a zvolenému typu tepelného čerpadla se nemusí upravovat teplotní spád soustavy, který zůstává na hodnotě  $60\text{ }^{\circ}\text{C}/50\text{ }^{\circ}\text{C}$  při vnější teplotě  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pro okruh TUV se pak v každém vchodě rozmístí dva zásobníky teplé vody SBB 501 WP SOL, každý o objemu 500 litrů. Tyto zásobníky jsou konstruovány s možností budoucího připojení solárního systému. Jak u zásobníku na TUV, tak i u zásobníku na topnou vodu se naskýtá možnost instalace šroubovatelného topného tělesa. Jelikož je výkon

tepelných čerpadel a jejich elektrokotlů dostatečný, není jich pro daný návrh potřeba. Rozměry a návrh rozmístění systému s tepelnými čerpadly v objektu lze vyhledat v elektronických přílohách **Př. E. 10** a **Př. E. 11**.

Společenství vlastníku jednotek bloku 503 nepronajímá žádné společné prostory pro podnikatelskou činnost, lze tak využít výhodné dvoutarifové sazby D56d elektrické energie. V případě této sazby je zaručena platnost nízkého tarifu v délce minimálně 22 hodin denně. Pro oblast Ústeckého kraje, a tedy i Mostu, zajišťuje distribuci elektrické energie společnost ČEZ Distribuce, a. s.

Cenová specifikace návrhu systému vytápění a přípravy TUV a tedy i počáteční investice je obsažena v následující tabulce. Dle zkušeností zaměstnanců firmy s podobnými návrhy se cena při dodání na klíč zvýší maximálně o 10 % oproti katalogovému součtu cen jednotlivých komponent.

Tab. 36 Cenová specifikace návrhu systému vytápění a přípravy TUV

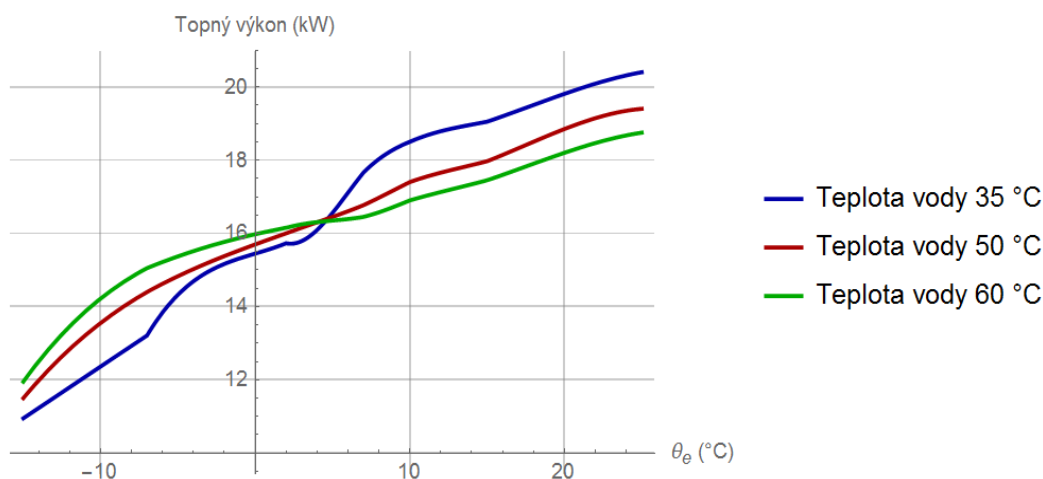
Popis zařízení	Počet ks	Cena celkem bez DPH
Tepelné čerpadlo WPL 23 E	12	2 546 000 Kč
Opláštění WPL 13/18/23 vnitřní provedení	12	322 000 Kč
Regulace TČ nástěnná WPMWII	24	305 000 Kč
Tepelně izolovaná vzduchová hadice LSWP 560-4 AL	24	151 000 Kč
Deska k připojení vzduchové hadice	24	112 000 Kč
Pružné tlakové hadice SD 32-1	24	45 000 Kč
Akumulační zásobník topné vody SBP 700 E	1	31 000 Kč
Zásobník teplé vody stacionární SBB 501 WP SOL	10	524 000 Kč
Oběhové čerpadlo UP 25/7,5 E	34	190 000 Kč
<b>Celková cena bez DPH</b>		<b>4 226 000 Kč</b>
<b>Celková cena s DPH</b>		<b>5 113 460 Kč</b>
<b>Celková cena s DPH při dodání na klíč</b>		<b>5 625 000 Kč</b>

### 5.3 Bivalentní provoz

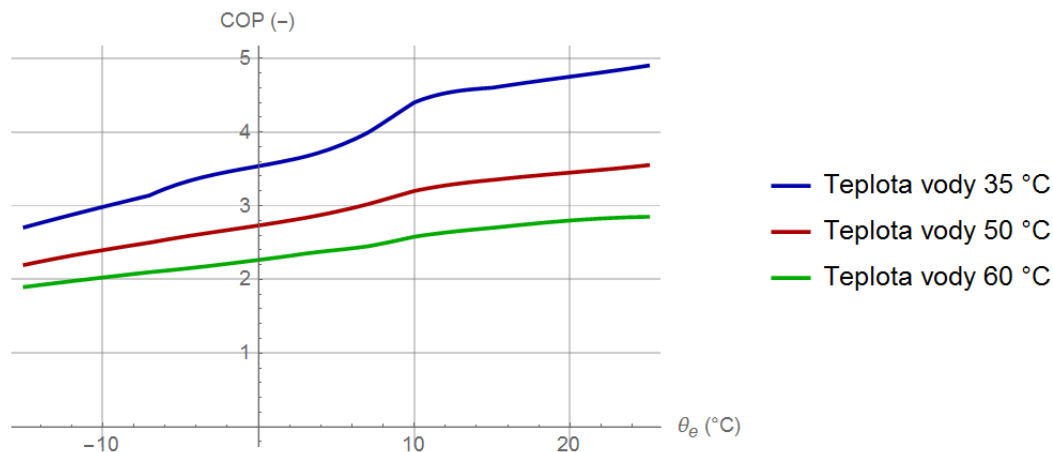
Jak bylo zmíněno výše, tepelná čerpadla jsou vybavena vestavěnými elektrokotli, které představují tzv. bivalentní zdroje. S klesající teplotou klesá i výkon tepelných čerpadel vzduch - voda, při určité teplotě již samotná čerpadla nedokáží krýt tepelnou potřebu objektu. V tomto momentě se zapínají náhradní zdroje, jež pokrývají výkonové špičky. Dimenzovat tepelná čerpadla pro maximální potřebný výkon je neekonomické, u vzduchových čerpadel pak bez výrazného navýšení počáteční investice i téměř nemožné. Zálohové zdroje navíc

slouží i ke krytí potřeby tepla v případě poruchy či nenadálého výpadku tepelných čerpadel. Nevýhodou bivalentního provozu jsou pak vyšší stálé platby za jistič [16].

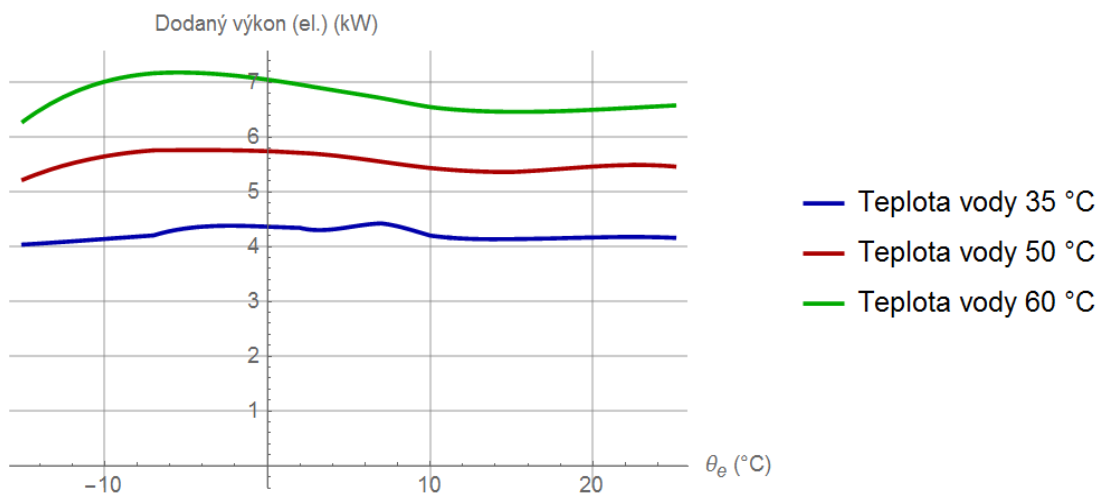
Pro hospodárný provoz systému je vhodné co nejvíce využívat tepelná čerpadla. Proto je potřeba stanovit tzv. bivalentní teplotu, tedy teplotu, kdy dochází k sepnutí záložních zdrojů. Bod bivalence se stanoví pomocí znalosti tepelných ztrát objektu a výkonu tepelných čerpadel soustavy. Tepelný výkon čerpadel se stanoví pomocí parametrů dostupných v technickém listu od výrobce. V těchto listech je udávána hodnota topných výkonů a topných faktorů pro různé teploty venkovního vzduchu a topné vody na výstupu z čerpadla. Data se poté dají interpolovat pro získání funkce závislosti výkonu, topného faktoru a elektrického příkonu na venkovní teplotě a v případě ekvitermní regulace i na výstupní teplotě vody. Následující grafy udávají závislosti sledovaných veličin jednoho čerpadla WPL 23 E na teplotě venkovního vzduchu, pro zpracování byl použit matematický solver Mathematica. Výsledný soubor je k práci připojen jako elektronická příloha **Př. E. 12**.



Obr. 7 Závislost topného výkonu tepelného čerpadla WPL 23 E na teplotě venkovního vzduchu



Obr. 8 Závislost topného faktoru tepelného čerpadla WPL 23 E na teplotě venkovního vzduchu



Obr. 9 Závislost příkonu tepelného čerpadla WPL 23 E na teplotě venkovního vzduchu

K potřebným výpočtům se dále musí určit schéma otopné soustavy a stanovit jednotlivé teploty v okruhu. Z tohoto schématu se určí bod bivalence i topný výkon a příkon tepelných čerpadel v průběhu roku. Celý systém může být popsán následujícími rovnicemi:

$$m \cdot c \cdot (\theta_{out} - \theta_{in}) = s_{HP} \cdot P_p \quad (37)$$

$$m \cdot c \cdot (\theta_h - \theta_{out}) = s_B \cdot P_B \quad (38)$$

$$m \cdot c \cdot (\theta_h - \theta_{in}) = \Phi_{celk} \quad (39)$$

$$k_{heating} \cdot \left( \frac{\theta_h + \theta_{in}}{2} - \theta_i \right) = \Phi_{celk} \quad (40)$$

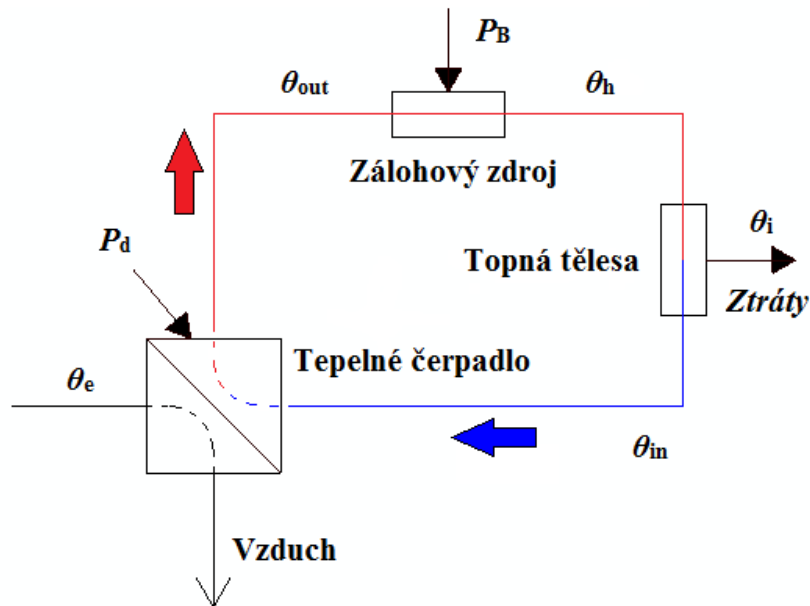
kde  $m$  je hmotnostní průtok vody ( $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ),  $c$  měrná tepelná kapacita vody<sup>37</sup> ( $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ),  $s_{HP}$  střída tepelného čerpadla (-),  $s_B$  střída zálohového zdroje (-),  $\Phi_{celk}$  ztráty objektu za dané venkovní teploty (W),  $P_B$  výkon zálohové zdroje (W),  $k_{heating}$  konstanta topné soustavy (-),  $\theta_{out}$  teplota vody na výstupu z čerpadla ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $\theta_h$  teplota topné vody ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $\theta_{in}$  teplota vratné vody ( $^{\circ}\text{C}$ ) [31].

Z rovnic (39) a (40) se dají získat konstanty  $m$  a  $k_{heating}$  při dosažení známého stavu soustavy. Pro posuzovaný dům to znamená:  $\theta_i = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\theta_h = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\theta_{in} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$  při vnější teplotě  $-15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Při známých konstantách a charakteristikách tepelného čerpadla se již může přistoupit ke stanovení teploty bivalence. Je zřejmé, že nad teplotou bivalence bude  $s_B = 0$ , neznámou bude  $s_{HP}$  a pod ní bude naopak  $s_{HP} = 1$  a zjišťuje se  $s_B$ . Tepelné čerpadlo pracuje

<sup>37</sup>  $c_{voda} = 4186 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

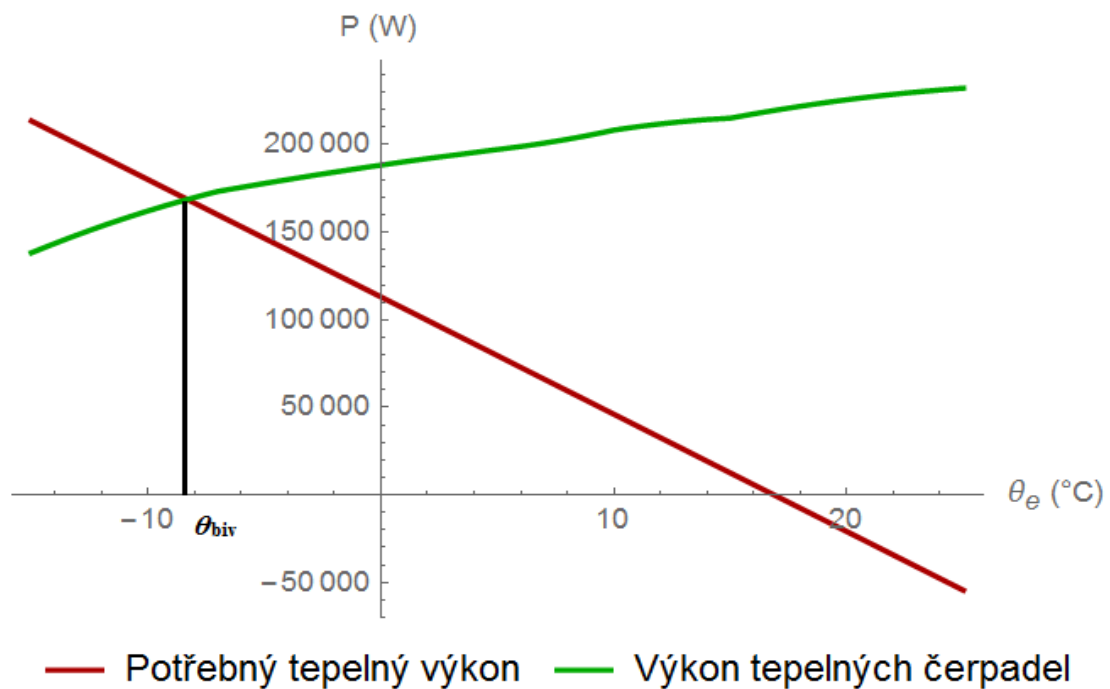


s výkonem, který odpovídá teplotě venkovního vzduchu a teplotě výstupní vody, dle aktuální potřeby tepla pak spíná.



Obr. 10 Model okruhu otopné soustavy s tepelným čerpadlem

K topnému okruhu je potřeba přičíst i provoz čerpadla pro okruh přípravy TUV, zde je situace jednodušší, potřeba TUV je v průběhu roku zhruba konstantní a pro tento okruh se nemění ani teplota výstupní vody z čerpadla. Teplota bivalence i se započtením zatížení čerpadel pro přípravu TUV je zobrazena v následujícím grafu, číselně pak tato teplota vyšla  $\theta_{biv} = -8,43 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

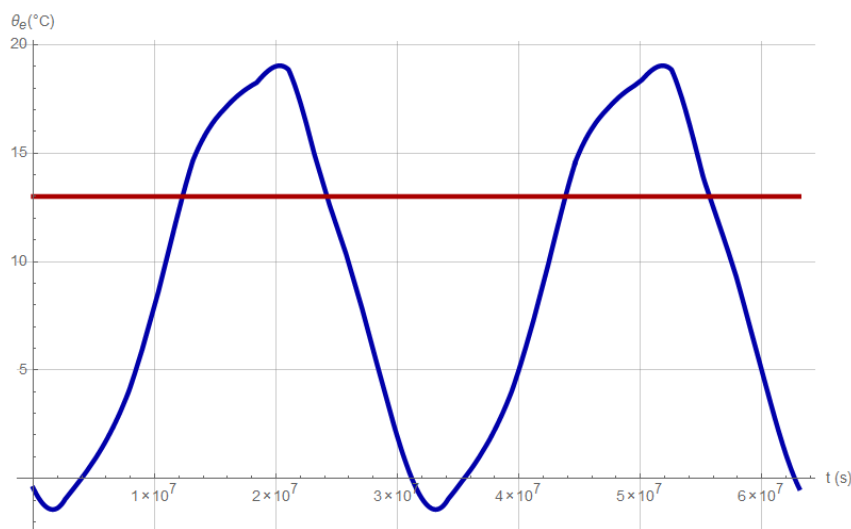


Obr. 11 Teplota bivalence pro posuzovaný dům s tepelnými čerpadly WPL 23 E

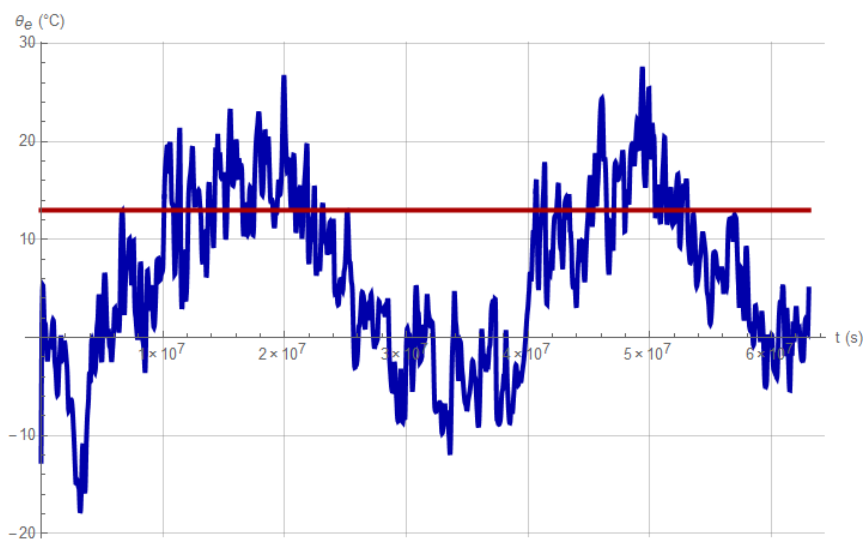
## 5.4 Roční energetická náročnost navrženého systému

Celkové dodané teplo tepelnými čerpadly popř. zálohovými zdroji, stejně tak i spotřeba elektrické energie se stanoví opět z modelu uvedeného v **oddílu 5.3** vycházejícího z rovnic (37) až (40). V rámci tohoto modelu byl použit přístup, kdy se za venkovní teplotu dosazuje její průměrná denní hodnota, mezilehlé hodnoty jsou interpolovány. Tím se aproximuje vliv tepelných kapacit budovy [31].

Pro stanovení délky topného období se využije průměrných měsíčních hodnot teplot, které se rovněž interpolují. Z této závislosti se poté může určit počátek a konec topného období. Jakmile dojde k vzrůstu venkovní teploty nad 13 °C, dochází k odpojení topného okruhu. Použití průměrných měsíčních hodnot eliminuje vliv extrémů na počátku či konci jednotlivých topných sezon v průběhu let.



Obr. 12 Průběh venkovní teploty v období dvou let – měsíční průměrné hodnoty



Obr. 13 Průběh venkovní teploty v období dvou let – denní průměrné teploty

Při porovnání se stávajícím systémem napojeným na CZT by při použití tepelných čerpadel měla poklesnout celková spotřeba tepla. Je to dáno lepším přizpůsobením ekvitermní regulace současnému stavu budovy, obyvatelé domu již také nebudou muset platit ztráty na transportním potrubí teplé vody, které jsou rozpočítány mezi odběratele, a rovněž poklesne potřeba tepla pro ohřev TUV. V současné době se maximální teplota TUV z CZT pohybuje kolem 90 °C, této teploty není schopné čerpadlo dosáhnout, a proto při zachování spotřeby TUV klesne hodnota potřebného tepla na její přípravu. Teplota TUV by však stále měla být pro běžnou potřebu dostačující.

Pro porovnání se stávající situací systému napojeného na CZT byl vybrán teplotně průměrný rok, ve kterém jsou známy jak údaje o fakturované spotřebě tepla, tak i o denních průměrných teplotách k určení spotřeby elektrické energie systému s tepelnými čerpadly. Přehled a porovnání navrženého systému se stávající variantou poskytuje následující tabulka.

Tab. 37 Přehled energetické náročnosti navrženého systému

Dodané teplo na vytápění tepelnými čerpadly za rok	428 949 kWh
Dodané teplo na ohřev TUV tepelnými čerpadly za rok	222 145 kWh
Dodané teplo celým systémem za rok	661 745 kWh
Spotřeba elektrické energie na vytápění tepelnými čerpadly za rok	142 726 kWh
Spotřeba elektrické energie na ohřev TUV tepelnými čerpadly za rok	91 928 kWh
Spotřeba elektrické energie celým systémem za rok	245 865 kWh
Spotřeba elektrické energie bivalentními zdroji za rok	11 212 kWh
Průměrný topný faktor tepelných čerpadel	2,77
Podíl bivalentních zdrojů	4,56 %
Fakturovaná spotřeba tepla na vytápění – současný stav	395 908 kWh
Fakturovaná spotřeba tepla na ohřev TUV – současný stav	366 798 kWh
Celkem spotřeba tepla – současný stav	762 706 kWh

## 6 Ekonomické zhodnocení navržené varianty

Pro posouzení výnosnosti určitého projektu se mohou použít různá investiční kritéria, ať už absolutní, relativní, uvažující či neuvažující časové rozložení peněžních toků plynoucích z investice. Často používaným a univerzálním investičním kritériem je tzv. čistá současná hodnota (NPV)<sup>38</sup>. Jedná se o kritérium absolutní, které počítá s časovou cenou peněz. NPV určitého investičního projektu se stanoví pomocí vztahu:

$$NPV = \sum_{t=0}^T CF_t \cdot (1 + r)^{-t} \quad (41)$$

kde  $CF_t$  je peněžní tok<sup>39</sup> plynoucí z investice v daném roce (Kč),  $T$  je doba životnosti projektu (rok) a  $r$  je diskontová míra reprezentující časovou cenu peněz a udávající také cenu ušlé příležitosti (-).

Peněžní tok  $CF_t$  ve vztahu (41), jak už název napovídá, představuje rozdíl mezi příjmy a výdaji peněžních prostředků za dané období. Při výběru z více srovnatelných investičních příležitostí platí, že kritériální podmínkou je co nejvyšší NPV. Při jedné investiční příležitosti se pak v prvním přiblížení hledí na to, zda je NPV kladné či záporné. Při kladném NPV a správně nastaveném diskontu se projekt vyplatí realizovat [32].

Počáteční investice do realizace systému s tepelným čerpadlem je uvedena v **Tab. 36**. Při známé spotřebě elektrické energie navrženého systému i známé současné fakturované spotřebě tepla z CZT je dále potřeba uvést jednotkovou cenu jak elektřiny, tak i tepla z CZT. Jak bylo uvedeno výše, pro oblast Ústeckého kraje zajišťuje distribuci elektřiny společnost ČEZ Distribuce, a. s, vychází se proto z jejich platného ceníku pro rok 2015, viz příloha **Př. E. 13**, uvedené ceny v následující tabulce jsou včetně DPH.

Tab. 38 Ceník energií

Hodnota jističe pro paušál	3 x 300 A
Cena za paušál ročně	52 417,20 Kč
Sazba D56d - cena za 1 MWh – vysoký tarif	2 660,19 Kč
Sazba D56d - cena za 1 MWh – nízký tarif	2 341,91 Kč
Teplo – cena za GJ	562,02 Kč

<sup>38</sup> Z anglického Net Present Value.

<sup>39</sup> Z anglického Cash Flow.

Před stanovením NPV daného projektu je třeba určit, zda výpočet bude probíhat ve stálých cenách pouze s reálným diskontem nebo zda se zahrne i vývoj cen a inflace, v takovém případě se musí výpočet provést v nominálních cenách s nominálním diskontem. Vzhledem k poměrně obtížné predikci cen elektřiny se stanovení NPV provede v tomto případě ve stálých cenách.

Ke stanovení výše diskontu se může využít hodnoty úrokové sazby, která by byla placena u dlouhodobého cizího kapitálu. Současná výše úrokových sazeb u úvěrů se zjistí pomocí databáze časových řad ARAD České národní banky, která obsahuje statistická data z různých ekonomických oblastí. Úroková sazba u úvěrů pro společenství vlastníků jednotek se v současné době pohybuje okolo 4,1 %. Tato hodnota však představuje nominální hodnotu diskontu zahrnující inflaci. Reálný diskont se z nominálního stanoví pomocí vztahu [33] [34]:

$$r_r = \frac{r_n - \alpha}{1 + \alpha} \quad (42)$$

kde  $r_n$  je nominální diskont (-) a  $\alpha$  míra inflace<sup>40</sup> (-).

Nyní se již mohou stanovit roční výdaje na vytápění a přípravu TUV současného systému i navrženého systému s tepelnými čerpadly. Hodnoty výdajů zaokrouhlené na tisíce jsou uvedeny v **Tab. 39**. Při stanovování NPV z hlediska projektu se roční výdaje současného systému napojeného na CZT při realizaci navrženého systému dají označit za příjmy (výnosy).

Tab. 39 Podklady pro výpočet NPV projektu

Roční výdaje s CZT	1 543 000 Kč
Roční výdaje s tepelnými čerpadly <sup>41</sup>	735 000 Kč
Roční úspora ( $CF_t$ )	808 000 Kč
Reálný diskont	2,06 %
Doba životnosti projektu	20 let

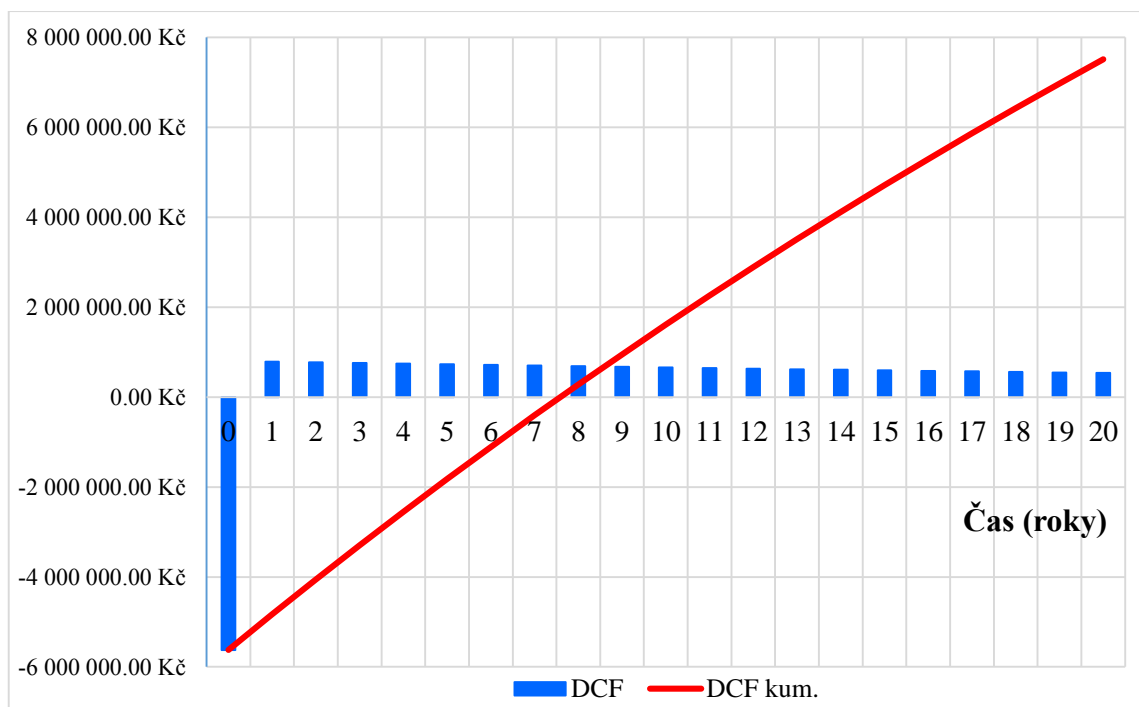
V tuto chvíli již jsou známy veškeré potřebné údaje pro výpočet rozdílového NPV celého projektu. Peněžní toky v jednotlivých letech ukazuje následující tabulka. Celkové výsledné NPV realizace systému vytápění a přípravy TUV s tepelnými čerpadly je vysoce kladné a při výše uvedených podmínkách se projekt vyplatí uskutečnit, veškeré výpočty týkající se ekonomické části lze opět najít v elektronické příloze **Př. E. 6**.

<sup>40</sup> Pro dlouhé časové úroky se vychází z dlouhodobého inflačního cíle ČNB, v současné době jsou to 2 %.

<sup>41</sup> K nákladům za elektrickou energii přičítám 100 000 Kč ročně na údržbu, náhradní díly apod.

Tab. 40 Průběh peněžních toků v jednotlivých letech

Rok	CF <sub>t</sub>	DCF <sub>t</sub> <sup>42</sup>	DCF kumulovaný
0	-5 625 000,00 Kč	-5 625 000,00 Kč	-5 625 000,00 Kč
1	808 000,00 Kč	791 700,29 Kč	-4 833 299,71 Kč
2	808 000,00 Kč	775 729,39 Kč	-4 057 570,32 Kč
3	808 000,00 Kč	760 080,67 Kč	-3 297 489,65 Kč
4	808 000,00 Kč	744 747,63 Kč	-2 552 742,02 Kč
5	808 000,00 Kč	729 723,90 Kč	-1 823 018,12 Kč
6	808 000,00 Kč	715 003,25 Kč	-1 108 014,87 Kč
7	808 000,00 Kč	700 579,55 Kč	-407 435,32 Kč
8	808 000,00 Kč	686 446,82 Kč	279 011,50 Kč
9	808 000,00 Kč	672 599,19 Kč	951 610,69 Kč
10	808 000,00 Kč	659 030,91 Kč	1 610 641,60 Kč
11	808 000,00 Kč	645 736,34 Kč	2 256 377,94 Kč
12	808 000,00 Kč	632 709,96 Kč	2 889 087,89 Kč
13	808 000,00 Kč	619 946,35 Kč	3 509 034,24 Kč
14	808 000,00 Kč	607 440,23 Kč	4 116 474,48 Kč
15	808 000,00 Kč	595 186,39 Kč	4 711 660,87 Kč
16	808 000,00 Kč	583 179,75 Kč	5 294 840,62 Kč
17	808 000,00 Kč	571 415,32 Kč	5 866 255,94 Kč
18	808 000,00 Kč	559 888,21 Kč	6 426 144,15 Kč
19	808 000,00 Kč	548 593,63 Kč	6 974 737,78 Kč
20	808 000,00 Kč	537 526,90 Kč	7 512 264,69 Kč
<b>Celkové rozdílové NPV projektu</b>			<b>7 512 264,69 Kč</b>



Obr. 14 Průběh diskontovaného peněžního toku

<sup>42</sup> Diskontovaný peněžní tok v daném roce.

Na závěr byla provedena citlivostní analýza ke zjištění, při jakém růstu cen elektřiny a současně při zachování ceny tepla z CZT by rozdílové NPV realizace systému s tepelnými čerpadly vyšlo nulové. Výsledkem je 6,14% každoroční růst cen elektrické energie v průběhu příštích 20 let, což se jeví jako velmi nereálné a i z tohoto hlediska je projekt velmi výhodné realizovat.

## 7 Závěr

Před samotným výpočtem tepelných ztrát bylo potřeba seznámit se s příslušnou legislativou. Vzhledem k rozsahu práce nebylo možno zacházet do přílišných detailů. Byly tak vybrány pouze nejdůležitější právní předpisy jak na evropské, tak na národní úrovni, aby bylo dosaženo základního uceleného pohledu na problematiku odpovídající současné situaci.

Výpočet tepelných ztrát hraje důležitou roli při návrhu úsporných opatření. Umožňuje rozpoznat slabá místa ve stavebních konstrukcích budov a zaměřit se na systémová řešení vedoucí jak k energetickým, tak k finančním úsporám. Takový výpočet byl proveden i v rámci bakalářské práce na bytovém panelovém domu v Mostě s blokovým číslem 503. Výsledkem jsou ztráty za vnější výpočtové teploty  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  o velikosti 188 kW, což je vzhledem k velikosti domu poměrně dobrá hodnota. Pro stanovení celkových nákladů spojených s užíváním budovy a dopadu na životní prostředí je však potřeba přistoupit ke komplexnímu hodnocení se zahrnutím všech technických soustav objektu (vytápění, osvětlení, příprava teplé užitkové vody, atd.). V rámci práce tak byla stanovena i celková energetická náročnost objektu dle současně platné legislativy a budova byla zařazena do příslušných energetických tříd. Za současného stavu se dům nachází dle většiny energetických ukazatelů ve třídě C, tedy ve třídě se slovním hodnocením „Úsporná“.

Z důvodu zateplení objektu v roce 2012 se stavebními zásahy do obálky budovy nedají již výrazně snížit tepelné ztráty objektu. Vzhledem k situaci, kdy s rokem 2017 končí povinnost pro společenství vlastníků jednotek bloku 503 využívat centrální systém vytápění, se proto stávají alternativní systémy vytápění, popř. přípravy TUV, pro bytový dům aktuálním tématem. Na základě nabídky od firmy Stiebel-Eltron, s. r. o. byl vybrán k posouzení systém vytápění a přípravy TUV s tepelnými čerpadly vzduch - voda WPL 23 E. Tento typ čerpadla byl zvolen s ohledem na umístění budovy, volné prostorové dispozice vhodné pro rozmístění celého systému a dostupné zdroje primární energie. Po zateplení by tak s tímto systémem obyvatelé domu mohli ušetřit další finanční prostředky.

Výhodnost investice do nového systému vytápění a přípravy TUV byla proto rovněž analyzována v rámci této bakalářské práce. Z použitého modelu systému byl vypočítán roční průměrný topný faktor tepelných čerpadel 2,77. I přes počáteční poměrně vysokou investici se však projekt při zhodnocení investičním kritériem NPV zdá jako velmi výhodný k realizaci a odpojení od CZT by se v horizontu základní životnosti systému vyplatilo i s ohledem na stále



rostoucí ceny tepla z CZT. Práce tak poslouží jako první podklad pro rozhodování, zda do takového systému opravdu investovat.

## Reference

- [1] KABELE, Karel. Revize evropské směrnice 2002/91/ES o energetické náročnosti budov. In: TZB-info [online]. 30. 8. 2010 [cit. 2014-11-17]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/6739-revize-evropske-smernice-2002-91-es-o-energeticke-narocnosti-budov>
- [2] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU ze dne 19. května 2010 o energetické náročnosti budov
- [3] Nízkoenergetické domy. In: TZB-info [online]. [cit. 2014-11-19]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/nizkoenergeticke-domy>
- [4] LEDVINA, Petr. Co je to nulový dům? - Spotřebitelské otázky. In: [online]. 2014 [cit. 2014-11-19]. Dostupné z: [http://www.ekoporadna.cz/wiki/doku.php?id=stavby:co\\_je\\_to\\_nulovy\\_dum](http://www.ekoporadna.cz/wiki/doku.php?id=stavby:co_je_to_nulovy_dum)
- [5] URBAN, Miroslav a Karel KABELE. Nové požadavky na hodnocení energetické náročnosti budov od 1. dubna 2013. In: *TZB-info* [online]. 8. 4. 2013 [cit. 2014-11-19]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/9745-nove-pozadavky-na-hodnoceni-energeticke-narocnosti-budov-od-1-dubna-2013>
- [6] PLOCKOVÁ, Irena. Štítek a průkaz energetické náročnosti budovy - výklad pojmů. In: *TZB-info* [online]. 13. 8. 2007 [cit. 2014-11-19]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4292-stitek-a-prukaz-energeticke-narocnosti-budovy-vyklad-pojmu>
- [7] Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov
- [8] Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů
- [9] Náležitosti průkazu energetické náročnosti budovy. In: *INKAPO* [online]. [cit. 2014-11-23]. Dostupné z: <http://www.inkapo.cz/sluzby/prukaz-energeticke-narocnosti-budovy-penb/nalezitosti-prukazu-energeticke-narocnosti-budovy>
- [10] Posouzení budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění. HUDCOVÁ, Lenka. *Energetická náročnost budov: základní pojmy a platná legislativa*. Praha: EkoWATT, 2009, s. 33-34. ISBN 978-80-87333-03-7.
- [11] Stanice - Tušimice, aktuální teplota, rekordy, archiv, průměry | In-počasí. *IN-POČASÍ* [online]. [cit. 2014-11-24]. Dostupné z: <http://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=tusimice>
- [12] BROŽ, Karel. *Vytápění*. 2. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2006, 205 s. ISBN 80-010-2536-5.
- [13] TNI 73 0330. *Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - Bytové domy*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

- [14] Otázky a odpovědi. *United Energy* [online]. [cit. 2014-11-23]. Dostupné z: [http://www.ue.cz/index.php?option=com\\_content&view=category&id=29&Itemid=117](http://www.ue.cz/index.php?option=com_content&view=category&id=29&Itemid=117)
- [15] T 08B. *Panelové domy* [online]. [cit. 2014-11-26]. Dostupné z: <http://panelovedomy.ekowatt.cz/t-08b>
- [16] HRADÍLEK, Zdeněk, Ilona LÁZNIČKOVÁ a Vladimír KRÁL. *Elektrotepelná technika*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 264 s. ISBN 978-80-01-04938-9.
- [17] ČSN EN ISO 13790. *Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [18] Zelená úsporám - Slovníček pojmů. *Zelená úsporám* [online]. [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: [www.zelenausporam.cz/sekce/560/2/slovnicek-pojmu/technicke-terminy/](http://www.zelenausporam.cz/sekce/560/2/slovnicek-pojmu/technicke-terminy/)
- [19] ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Český normalizační institut, 2005.
- [20] Katalog stavebních materiálů. *TZB-info* [online]. [cit. 2014-12-13]. Dostupné z: [http://www.tzb-info.cz/docu/tabulky/0000/000068\\_katalog.html](http://www.tzb-info.cz/docu/tabulky/0000/000068_katalog.html)
- [21] Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci. *TZB-info* [online]. [cit. 2014-12-13]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/140-prostup-tepla-vicest-rou-v-konstrukci-a-prubeh-teplot-v-konstrukci>
- [22] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [23] ČSN 73 0540-4. *Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody*. Český normalizační institut, 2005.
- [24] ČSN EN ISO 13789. *Tepelné chování budov - Měrné tepelné toky prostupem tepla a větráním - Výpočtová metoda*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [25] ZMRHAL, Vladimír. Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15 665/Z1. In: *TZB-info* [online]. 30. 1. 2012 [cit. 2014-12-12]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/8239-pozadavky-na-vetrani-obytnych-budov-dle-csn-en-15-665-z1>
- [26] ČSN 06 0210. *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění*. Český normalizační institut, 1994.
- [27] POČINKOVÁ, Marcela. Umístění plynových spotřebičů s ohledem na větrání bytových domů. In: *TZB-info* [online]. 24. 10. 2005 [cit. 2014-12-15]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2805-umisteni-plynovych-spotrebicu-s-ohledem-na-vetrani-bytovych-domu>
- [28] NOVÁK, Jiří. *Stavební tepelná technika - pomůcka pro cvičení*. Praha, 2011, 47 s.
- [29] AMBROŽOVÁ, Iva a Petr HORÁK. Stanovení tepelných zisků zasklení ze slunečního záření v energetickém hodnocení budov. In: *TZB-info* [online]. 27. 8. 2012 [cit. 2015-04-19]. Dostupné z:

<http://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/8972-stanoveni-tepelnych-zisku-zaskleni-ze-slunecniho-zareni-v-energetickem-hodnoceni-budov>

[30] BUDÍN, Jan. Tepelná čerpadla - princip funkce a rozdělení. In: *OEnergetice.cz* [online]. 26. 3. 2015 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/teplo/tepelna-cerpadla/>

[31] RICHARD, Najman. *Simulace zátěže tepelných čerpadel*. 2010, 5 s.

[32] VAŠÍČEK, Jiří. ČVUT FEL. *Cash Flow* [přednáška]. 2011 [cit. 2015-05-16]. Dostupné také z: <https://ekonom.feld.cvut.cz/cs/student/predmety/ucetnictvi-a-finance>

[33] ARAD - Systém časových řad. *ARAD* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: [http://www.cnb.cz/cnb/STAT.ARADY\\_PKG.PARAMETRY\\_SESTAVY?p\\_sestuid=12864&p\\_strid=AAABAA&p\\_lang=CS](http://www.cnb.cz/cnb/STAT.ARADY_PKG.PARAMETRY_SESTAVY?p_sestuid=12864&p_strid=AAABAA&p_lang=CS)

[34] STARÝ, Oldřich. ČVUT FEL. *Vliv inflace a daní na rozhodování* [přednáška]. 2011 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <https://ekonom.feld.cvut.cz/cs/student/predmety/ucetnictvi-a-finance>

## **Tištěné přílohy**

Tabulka A. 1 - Seznam použitých stavebních materiálů

Tabulka A. 2 - Konstrukce obálky systémové hranice budovy

Tabulka A. 3 - Rozměry budovy

Tabulka A. 4 - Důležité plochy budovy

Tabulka A. 5 - Délky spár oken a dveří

Tabulka A. 6 - Přehled tepelných výměn hodnocené budovy

Tabulka A. 7 - Přehled tepelných výměn referenční budovy - dokončené

Tabulka A. 8 - Přehled tepelných výměn referenční budovy - nové

Tabulka A. 9 - Využitelné tepelné zisky hodnocené budovy

Tabulka A. 10 - Využitelné tepelné zisky referenční budovy - dokončené

Tabulka A. 11 - Využitelné tepelné zisky referenční budovy - nové

Obr. B 1 - Pohled na přední průčelí domu

Obr. B 2 - Pohled na zadní průčelí domu

Obr. B 3 - Pohled na jihozápadní štít

Tabulka A. 1 - Seznam použitých stavebních materiálů

Materiál	Tloušťka (mm)	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ (W/m·K)	Tepelný odpor $R^{43}$ (m <sup>2</sup> ·K/W)
Baumit EPS-F	30	0,039	0,769
Baumit EPS-F	100	0,039	2,564
Baumit EPS-F	120	0,039	3,077
Baumit min. desky s KV	120	0,040	3,000
Baumit min. desky s KV	30	0,040	0,750
Austrotherm XPS Top P	120	0,042	2,857
Železobeton	250	1,580	0,158
Železobeton	200	1,580	0,127
Železobeton	155	1,580	0,098
Železobeton	90	1,580	0,057
Železobeton	65	1,580	0,041
Železobeton	60	1,580	0,038
Vzduchová mezera v MIV - léto	15	0,088	0,170
Vzduchová mezera v MIV - zima	15	0,100	0,150
Polystyren (izolace v panelu)	80	0,060	1,333
Polystyren (izolace v panelu)	40	0,060	0,667
Podlahový polystyren	30	0,044	0,682
Lepící stěrka Baumit ProContact	1,5	0,800	0,002
Lepící stěrka Baumit ProContact	3	0,800	0,004
Omítka GranoporTop	2	0,700	0,003
Omítka MosaikTop	2	0,700	0,003
Omítka - interiér	5	0,880	0,006
Plynosilikátové panely	250	0,200	1,250
Heraklitové pásy	35	0,070	0,500
Aquapanel Outdoor	12,5	0,360	0,035
Sádrokarton GKF	12,5	0,240	0,052
Sádrokarton GKF	15	0,240	0,063
Rockwool Airock SL	80	0,035	2,286
Malta cementová	15	1,160	0,013
Bitumenové desky Onduline	3	0,066	0,045
Cementový potěr	30	1,400	0,021
PVC - podlaha	3	0,160	0,019
Minerální vlna Classic 039	100	0,039	2,308 <sup>44</sup>
Betonová mazanina	22	1,300	0,017
Keramická dlažba	8	1,010	0,008
Izolace pod keramickou dlažbu	10	0,040	0,250

<sup>43</sup> Tepelný odpor  $R$  se spočte z tloušťky dané vrstvy materiálu dělené jeho součinitelem tepelné vodivosti  $\lambda$ . Ve vzorci (3) jde o prostřední člen jmenovatele zlomku.

<sup>44</sup> Hodnotu tohoto odporu jsem snížil o 10 % kvůli nedokonalému proložení vlny.

Tabulka A. 2 - Konstrukce obálky systémové hranice budovy

Plocha	Velikost (m <sup>2</sup> )	Stavební součinitel prostupu tepla $U$ (W/m <sup>2</sup> K)	Měrná tepelná ztráta prostupem (W/K)
Celková plocha oken a dveří	1 751,31	1,20	2 102
Celková plocha střechy	1 153,80	0,25	239
Celková plocha podlahy	1 153,80	1,23	810
Celková plocha zateplení EPS-F tl. 100 mm	563,64	0,29	162
Celková plocha MIV + další izolace	400,32	0,17	70
Celková plocha zateplení jen s min. deskami tl. 120 mm	578,60	0,27	154
Celková plocha zateplení jen s EPS-F tl. 120 mm	1 549,27	0,26	408
Poštovní schránky	3,00	3,25	10
<b>Celková plocha systémové hranice budovy</b>	<b>7 153,73</b>	<b>0,60</b>	<b>3 954</b>

Tabulka A. 3 - Rozměry budovy

Rozměr	Velikost (m)
Hloubka budovy (bez stěn panelů)	12,00
Hloubka budovy (se stěnami panelů)	12,46
Rozpon	6,00
Délka (se štítů)	90,65
Délka (bez štítů)	90,05
Výška budovy - štítová atika	23,25
Výška budovy - čelní atika	23,05
Výška budovy - nová sedlová střecha	24,80
Výška budovy - nejvyšší bod (větrací otvor)	25,70
Výška budovy - pro výpočet obálky systémové hranice	23,40
Konstrukční výška podlaží	2,80
Světlá výška podlaží	2,55
Šířka nosných stěn	0,20
Šířka dilatační mezery	0,05
Šířka bytové jednotky	5,80
Předsazení lodžie	1,20

Tabulka A. 4 - Důležité plochy budovy

Plocha	Velikost
<b>Jedno patro (2. – 8. nadzemní podlaží)</b>	
Plocha patra (se stěnami)	1 080,60 m <sup>2</sup>
Plocha patra (bez nosných stěn)	1 044,00 m <sup>2</sup>
Podlahová plocha bytů na patře (bez lodžii)	879,70 m <sup>2</sup>
Plocha kumbálů na chodbě patra	15,50 m <sup>2</sup>
Plocha společných částí na patře	121,00 m <sup>2</sup>
<b>1. nadzemní podlaží</b>	
Plocha patra (se stěnami)	1 080,60 m <sup>2</sup>
Plocha patra (bez nosných stěn)	1 044,00 m <sup>2</sup>
Podlahová plocha bytů patra (bez lodžii)	679,00 m <sup>2</sup>
Podlahová plocha společných částí na patře	335,00 m <sup>2</sup>
Plocha lodžii	17,40 m <sup>2</sup>
<b>Celá budova bez suterénu</b>	
<b>Celková vnitřní podlahová plocha (se stěnami)</b>	<b>8 644,80 m<sup>2</sup></b>
<b>Energeticky vztažná plocha</b>	<b>9 230,36 m<sup>2</sup></b>
Celková vnitřní podlahová plocha (bez nosných stěn)	8 352,00 m <sup>2</sup>
Plocha lodžii	423,40 m <sup>2</sup>
Podlahová plocha bytů	6 836,90 m <sup>2</sup>
Podlahová plocha kumbálů	108,50 m <sup>2</sup>
Podlahová plocha společných částí	1 182,00 m <sup>2</sup>
Plocha bytů (včetně stěn)	6 989,00 m <sup>2</sup>
Plocha chodeb (s kumbály včetně stěn)	1 322,40 m <sup>2</sup>
<b>Obálka budovy</b>	
Plocha systémové hranice – průčelí	2 125,89 m <sup>2</sup>
Plocha systémové hranice - štít jihozápadní	297,18 m <sup>2</sup>
Plocha systémové hranice - štít severovýchodní	297,18 m <sup>2</sup>
Plocha systémové hranice – střecha	1 153,80 m <sup>2</sup>
Plocha systémové hranice – podlaha	1 153,80 m <sup>2</sup>
<b>Plocha systémové hranice budovy</b>	<b>7 153,73 m<sup>2</sup></b>
Plocha nové sedlové střechy	1 229,20 m <sup>2</sup>
Plocha obálky suterénu <sup>45</sup>	1 399,30 m <sup>2</sup>

<sup>45</sup> Nezapočítává se společná plocha se systémovou hranicí (v tomto případě strop suterénu).



Tabulka A. 5 - Délky spár oken a dveří

Umístění	Délka spár oken a dveří (m)
Přední průčelí (severozápadní orientace)	2 439,40
Zadní průčelí (jihovýchodní orientace)	2 487,93
Severovýchodní štít	41,12
Jihozápadní štít	41,12
Vchodové dveře – přední	30,50
Vchodové dveře – zadní	30,50
<b>Celková délka spár oken</b>	<b>5 009,57</b>
<b>Celková délka spár dveří</b>	<b>60,1</b>

Tabulka A. 6 - Přehled tepelných výměn hodnocené budovy

Měsíc	Celkové měsíční ztráty prostupem $Q_T$ (kWh)	Celkové měsíční ztráty větráním $Q_V$ (kWh)	Celkové měsíční solární zisky $Q_{sol}$ (kWh)	Celkové měsíční vnitřní tepelné zisky $Q_{int}$ (kWh)
Leden	67 367	37 312	13 964	26 263
Únor	55 053	30 492	19 551	23 722
Březen	51 327	28 428	32 574	26 263
Duben	34 149	18 914	42 065	25 416
Květen	17 323	9 595	54 438	26 263
Červen	9 246	5 158	55 128	25 416
Červenec	5 733	3 198	54 018	26 263
Srpen	3 822	2 132	49 727	26 263
Září	19 248	10 661	36 312	25 416
Říjen	34 004	18 834	22 242	26 263
Listopad	49 672	27 511	9 947	25 416
Prosinec	65 763	36 424	8 672	26 263
<b>Celkem</b>	<b>412 707</b>	<b>228 658</b>	<b>398 638</b>	<b>309 228</b>

Tabulka A. 7 - Přehled tepelných výměn referenční budovy - dokončené

Měsíc	Celkové měsíční ztráty prostupem $Q_T$ (kWh)	Celkové měsíční ztráty větráním $Q_V$ (kWh)	Celkové měsíční solární zisky $Q_{sol}$ (kWh)	Celkové měsíční vnitřní tepelné zisky $Q_{int}$ (kWh)
Leden	69 065	37 312	11 334	26 263
Únor	56 440	30 492	16 092	23 722
Březen	52 621	28 428	27 039	26 263
Duben	35 010	18 914	35 060	25 416
Květen	17 759	9 595	45 490	26 263
Červen	9 548	5 158	46 363	25 416
Červenec	5 920	3 198	45 387	26 263
Srpen	3 947	2 132	41 720	26 263
Září	19 733	10 661	30 207	25 416
Říjen	34 861	18 834	18 325	26 263
Listopad	50 923	27 511	7 959	25 416
Prosinec	67 420	36 424	6 867	26 263
<b>Celkem</b>	<b>423 246</b>	<b>228 658</b>	<b>331 843</b>	<b>309 228</b>

Tabulka A. 8 - Přehled tepelných výměn referenční budovy - nové

Měsíc	Celkové měsíční ztráty prostupem $Q_T$ (kWh)	Celkové měsíční ztráty větráním $Q_V$ (kWh)	Celkové měsíční solární zisky $Q_{sol}$ (kWh)	Celkové měsíční vnitřní tepelné zisky $Q_{int}$ (kWh)
Leden	55 252	37 312	11 334	26 263
Únor	45 152	30 492	16 092	23 722
Březen	42 096	28 428	27 039	26 263
Duben	28 008	18 914	35 060	25 416
Květen	14 208	9 595	45 490	26 263
Červen	7 638	5 158	46 363	25 416
Červenec	4 736	3 198	45 387	26 263
Srpen	3 157	2 132	41 720	26 263
Září	15 786	10 661	30 207	25 416
Říjen	27 889	18 834	18 325	26 263
Listopad	40 739	27 511	7 959	25 416
Prosinec	53 936	36 424	6 867	26 263
<b>Celkem</b>	<b>338 597</b>	<b>228 658</b>	<b>331 843</b>	<b>309 228</b>

Tabulka A. 9 - Využitelné tepelné zisky hodnocené budovy

Měsíc	Celkové měsíční zisky $Q_{H,gn}$ (kWh)	Faktor využitelnosti te- pelných zisků $\eta_{H,gn}$ (-)	Využitelné tepelné zisky (kWh)
Leden	40 227	0,999	40 202
Únor	43 273	0,996	43 115
Březen	58 838	0,968	56 963
Duben	67 481	0,752	50 737
Květen	80 701	0,333	26 911
Červen	80 544	0,179	14 404
Červenec	80 282	0,111	8 931
Srpen	75 991	0,078	5 954
Září	61 728	0,483	29 825
Říjen	48 505	0,912	44 254
Listopad	35 363	0,998	35 294
Prosinec	34 935	1,000	34 935
<b>Celkem</b>	<b>707 866</b>		<b>391 515</b>
<b>Využití zisků</b>	<b>55,31 %</b>		

Tabulka A. 10 - Využitelné tepelné zisky referenční budovy - dokončené

Měsíc	Celkové měsíční zisky $Q_{H,gn}$ (kWh)	Faktor využitelnosti te- pelných zisků $\eta_{H,gn}$ (-)	Využitelné tepelné zisky (kWh)
Leden	37 598	0,996	37 445
Únor	39 814	0,988	39 331
Březen	53 302	0,952	50 721
Duben	60 476	0,779	47 117
Květen	71 753	0,379	27 200
Červen	71 779	0,205	14 701
Červenec	71 650	0,127	9 118
Srpen	67 983	0,089	6 079
Září	55 632	0,533	29 650
Říjen	44 588	0,897	39 994
Listopad	33 375	0,991	33 077
Prosinec	33 130	0,997	33 045
<b>Celkem</b>	<b>641 071</b>		<b>367 478</b>
<b>Využití zisků</b>	<b>57,32 %</b>		

Tabulka A. 11 - Využitelné tepelné zisky referenční budovy - nové

Měsíc	Celkové měsíční zisky $Q_{H,gn}$ (kWh)	Faktor využitelnosti te- pelných zisků $\eta_{H,gn}$ (-)	Využitelné tepelné zisky (kWh)
Leden	37 598	0,996	37 434
Únor	39 814	0,986	39 237
Březen	53 302	0,937	49 925
Duben	60 476	0,722	43 656
Květen	71 753	0,331	23 764
Červen	71 779	0,178	12 796
Červenec	71 650	0,111	7 934
Srpen	67 983	0,078	5 289
Září	55 632	0,471	26 205
Říjen	44 588	0,864	38 534
Listopad	33 375	0,990	33 028
Prosinec	33 130	0,997	33 043
<b>Celkem</b>	<b>641 071</b>		<b>350 845</b>
<b>Využití zisků</b>	<b>54,73 %</b>		



*Obr. B 1 Pohled na přední průčelí domu*



*Obr. B 2 Pohled na zadní průčelí domu*



*Obr. B 3 Pohled na jihozápadní štít*



## Elektronické přílohy

Př. E. 1 Projektová dokumentace zateplení domu	<i>projektova_dokumentace.dwg</i>
Př. E. 2 Technická zpráva o oknech	<i>technicka_zprava_okna.zip</i>
Př. E. 3 Řez meziokenní izolační vložkou	<i>MIV.jpg</i>
Př. E. 4 Použité materiály na zateplení – 1. část	<i>materialy_na_zatepleni.pdf</i>
Př. E. 5 Použité materiály na zateplení – 2. část	<i>materialy_na_zatepleni_II.pdf</i>
Př. E. 6 Výpočty	<i>vypocty.xlsx</i>
Př. E. 7 Průkaz energetické náročnosti budovy	<i>PENB.zip</i>
Př. E. 8 Vyúčtování za teplo a TUV	<i>Vyuctovani_voda_teplo.zip</i>
Př. E. 9 Nabídka na systém s tepelnými čerpadly	<i>nabidka_tepelna_cerpadla.docx</i>
Př. E. 10 Uspořádání tepelných čerpadel v domě	<i>tepelna_cerpadla_usporadani.dwg</i>
Př. E. 11 Rozměry tepelných čerpadel	<i>tepelna_cerpadla_rozmary.dwg</i>
Př. E. 12 Výpočty ohledně tepelných čerpadel	<i>model_tepelných_cerpadel.nb</i>
Př. E. 13 Ceník elektrické energie	<i>cenik_cez_distribuce.pdf</i>