



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

**Optimální rekonstrukce rodinného domu do pasivního
(nízkoenergetického) standardu**
Optimal reconstruction of family house to passive energy (low-energy)
standard

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Ekonomika a řízení energetiky

Vedoucí práce: Ing. Jiří Beranovský MBA, Ph.D.

Bc. Martin Kulštejn

Praha 2019

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kulíštein** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **434975**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Ekonomika a řízení energetiky**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Optimální rekonstrukce rodinného domu do pasivního (nizkoenergetického) standardu

Název diplomové práce anglicky:

Optimal reconstruction of family house to passive energy (low-energy) standard

Pokyny pro vypracování:

1. Analýza stávajícího stavu a požadavků na rekonstrukce (technická specifiká rekonstrukcí, legislativa a normy, programy podpor v ČR).
2. Návrh opatření pro snížení energetické spotřeby a jejich diskuse.
3. Sestavení funkčních variant řešení.
4. Vyhodnocení variant, shrnutí, diskuse a formulace závěrů.

Seznam doporučené literatury:

1. Beranovský, J., Pokorný, J. (2014) Je úsporný dům opravdu úsporný? Z čeho postavit úsporný dům? [online] Praha, ? EkoWATT, Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie. ISBN: 978-80-87333-10-5. Dostupné z <http://www.ekowatt.cz/cz/datum-publikace>.
2. Beranovský, J., Jindrák, M., Bejvllová, V. (2017) Efektivní vytápění energeticky úsporných domů. [online] EkoWATT z. s., Praha. ISBN: ISBN 978-80-87333-14-3. Dílo bylo zpracováno za finanční podpory Státního programu na podporu úspor energie na období 2017-2021 - Program EFEKT 2 pro rok 2017. Dostupné z <http://ekowatt.cz/cz/publikace/>.
3. Srdečný, K. (2008) Katalog energeticky soběstačných řešení nejen pro nízkoenergetické domy, Praha: EkoWATT o. s.
4. Srdečný, K., Purkert, M., Klínerová, J. (2011) Porovnání kvality realizovaných pasivních domů v ČR z environmentálních hledisek. Odborná studie. [online] Praha: EkoWATT o. s., elektronická publikace. Dostupné z <http://www.ekowatt.cz/cz/datum-publikace>.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jiří Beranovský, Ph.D., MBA., katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL

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

Datum zadání diplomové práce: **01.02.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **24.05.2019**

Platnost zadání diplomové práce: **20.09.2020**

Ing. Jiří Beranovský, Ph.D., MBA.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Beranovskému za veškerou pomoc a poskytnutí studijních materiálů pro vypracování této práce. Dále děkuji Ing. Janu Truxovi za věcné připomínky a poskytnuté rady.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a v souladu s metodickým pokynem o dodržování etických principů pro vypracování závěrečných prací

V Praze dne.....

.....

Bc. Martin Kulštejn

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá možnostmi rekonstrukcí starších budov v souladu se současnými legislativními podmínkami a možnostmi využití dotačních titulů. Jako první je analyzována současná spotřeba energií za elektřinu a teplo. V další části je popsána platná legislativa pro stanovení energetické náročnosti budov. Následně jsou navrhována úsporná opatření, která jsou dále využita při sestavení jednotlivých návrhů a variant pro snížení spotřeby energií. Výsledkem je ekonomické zhodnocení, na jehož základě je doporučena optimální varianta.

Abstract

This thesis deals with the possibilities for reconstructions of old buildings in accordance with the current legislative conditions and the possibilities of using subsidy titles. Current energy consumption for electricity and heat is analyzed first. The next section describes the valid legislation for determining the energy performance of buildings. In addition, austerity measures are proposed that are further used to design individual options for reducing energy consumption. Recommendation of optimal option is based on the result of economic appreciation.

Klíčová slova

Energetická náročnost budov, rekonstrukce, legislativa, ekonomické zhodnocení, pasivní a nízkoenergetický dům,

Keywords

Energy performance of buildings, reconstruction, legislation, economic appreciation, passive and low-energy house

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Analýza stávajícího stavu.....	10
2.1	Ukazatele pro vyhodnocení stavu.....	10
2.1.1	Součinitel prostupu tepla.....	10
2.1.2	Tepelný odpor	10
2.1.3	Stanovení průměrného součinitele prostupu tepla	11
2.1.4	Výpočet tepelné ztráty objektu.....	11
2.2	Základní údaje	11
2.3	Faktury za teplo a elektřinu	13
2.3.1	Elektřina	13
2.3.2	Seznam spotřebičů.....	15
2.3.3	Vytápění	16
2.4	Současný stav obalových konstrukcí.....	17
2.5	Vyhodnocení stávajícího stavu.....	18
3	Legislativa norem a podpory v ČR	19
3.1.1	Vyhláška MPO ČR 78/2013 Sb. – O energetické náročnosti budov	19
3.1.2	Norma ČSN 38 3350	20
3.1.3	ČSN EN 12831-1	20
3.1.4	Norma ČSN 73 0540-2.....	20
3.1.5	Pasivní a nízkoenergetický standard	20
3.1.6	Hodnocení energetické náročnosti budov	21
3.1.7	Požadované hodnoty součinitele prostupu tepla u obalových konstrukcí.....	21
3.1.8	Nová zelená úsporám	22
4	Návrh na opatření pro snížení energetické spotřeby	22
4.1	Návrhy opatření na snížení nákladů a spotřeby elektrické energie	22

4.1.1	Opatření č. 1 - Možnost hybridního FV systému	24
4.1.2	Bilance spotřeby a výroby	26
4.1.3	Změna distribuční sazby	27
4.2	Návrhy opatření pro snížení spotřeby tepla a nákladů na vytápění a přípravu teplé vody	28
4.2.1	Opatření č. 2 - Tepelné čerpadlo	28
4.2.2	Opatření č. 3 - Elektrokotel	31
4.2.3	Opatření č. 4 - Kotel na pelety	32
4.2.4	Opatření č. 5 - Větrání s rekuperací	33
4.2.5	Opatření č. 6 - Tepelná izolace	33
4.2.6	Výměna oken a dveří	37
4.3	Shrnutí a změna energetické náročnosti budov	39
5	Sestavení funkčních variant řešení	40
5.1	Plán pro sestavení	40
5.1.1	Shrnutí dat pro sestavení jednotlivých variant	40
5.2	Tepelná ztráta	40
5.3	Potřeba tepla pro vytápění objektů	42
5.4	Varianta 1.	43
5.5	Varianta 2.	45
5.6	Varianta 3.	46
6	Ekonomické hodnocení	49
6.1.1	Stanovení diskontu	50
6.1.2	Eskalace cen	50
6.1.3	Inflace	50
6.1.4	Citlivostní analýza	50
6.2	Ekonomické vyhodnocení	51
6.3	Citlivostní analýza	52

7	Závěr.....	54
8	Seznam použité literatury.....	55
9	Seznam obrázků	57
10	Seznam Tabulek	57
11	Seznam Grafů.....	58
12	Přílohy.....	59
12.1	Příloha 1	59
12.1.1	Varianta 1	59
12.1.2	Varianta 2	60
12.1.3	Varianta 3	61

1 Úvod

V současné době energeticky úsporných a nenáročných trendů je důležité si položit otázku, jak lze tyto myšlenky uplatnit na budovách postavených v minulém století. Z dlouhodobého hlediska je důležité se zabývat provozními náklady budov. Investice do výstavby, či do rekonstrukce již stávajícího objektu by měla odpovídat následně nižším nákladům na provoz. Tento přístup lze také považovat za jistou míru jistění se proti výkyvům cen za energie. Z technického hlediska lze také předpokládat, že úsporný dům bude postaven kvalitně vzhledem k vysokým nárokům na těsnosti a k celkově přísným legislativním podmínkám. Tato práce se bude zabývat otázkou, zda se vyplatí investovat do rekonstrukce starší stavby a dosáhnout tak příznivější energetické náročnosti. Další motivací pro tento výzkum by měly být také environmentální dopady na životní prostředí. V takto starých objektech slouží většinou jako zdroj tepla zařízení spalující neobnovitelné zdroje a zároveň emisní prvek s nízkou účinností a tím pádem i vysokou spotřebou. Je nezbytné se zamyslet nad udržitelností takovýchto zdrojů jak z hlediska ekologického, tak z hlediska ekonomického.

V první kapitole bude cílem analyzovat současný stav jednotlivých konstrukcí, dále identifikace potřebných ukazatelů. K hodnocení stávajícího stavu vycházím ze spotřeb energií dle faktur. Následně bude cílem identifikovat problematické části, se kterými lze dále pracovat.

V další části bude podrobněji popsána legislativa podpory a norem v České republice, což je důležitá součást k následnému navrhování úsporných opatření.

Ve třetí kapitole budu navrhovat jednotlivá opatření pro snížení energetické náročnosti dle výše uvedených legislativních požadavků. Výstupem těchto opatření bude následné sestavení jednotlivých variant, které mají za cíl co nejefektivněji zlepšit současný stav jak z hlediska technologického, tak z hlediska ekonomického.

V poslední kapitole budu věnovat pozornost ekonomické stránce problematiky. Jednotlivé varianty mezi sebou porovnáám a následně podrobím citlivostní analýze. Výstupem je optimální varianta, která bude ekonomicky přijatelná.

2 Analýza stávajícího stavu

2.1 Ukazatelé pro vyhodnocení stavu

Pro hodnocení energetické náročnosti budovy jsou nezbytné následující veličiny charakterizující tepelněizolační schopnosti stavebních konstrukcí:

- Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]
- Tepelný odpor konstrukce R [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]
- Odpor při přestupu tepla h_{si} [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]
- Součinitel prostupu tepla U [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

2.1.1 Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla U určuje celkovou výměnu tepla mezi prostory, které jsou od sebe vzájemně odděleny danou stavební konstrukcí. Menší hodnota znamená lepší parametr. Součinitel prostupu tepla je dle normy ČSN EN ISO 6946 určen jako převrácená hodnota tepelného odporu

$$U = \frac{1}{R} [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

2.1.2 Tepelný odpor

Jedná se o veličinu, která charakterizuje tepelně izolační vlastnosti stavebních materiálů. Tento ukazatel stanovuje míru odporu proti pronikání tepla. Vyšší hodnota znamená lepší parametr. Tepelný odpor je dle normy ČSN EN ISO 6946 stanoven vztahem:

$$R = \frac{d}{\lambda} [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}]$$

d – tloušťka materiálu

λ – tepelná vodivost materiálu

tepelný odpor konstrukce lze dále vypočítat pomocí součtu tepelných odporů jednotlivých vrstev, ze kterých se daná konstrukce skládá. Odpor konstrukce při prostupu tepla je tedy dále definován vztahem

$$R_T = R_{si} + R + R_{se}$$

2.1.3 Stanovení průměrného součinitele prostupu tepla

Je ukazatel sloužící pro hodnocení energetických vlastností budovy. Stanovuje se pro budovu, nebo pro její vytápěnou zónu. Reprezentuje se zde průměrné množství ztraceného výkonu vztaženo k jednomu metru čtverečnímu obálkové plochy budovy během teplotního rozdílu vnějšího a vnitřního prostředí. Hodnota se stanovuje dle normy ČSN 75 0540-2 podle následujícího vztahu:

$$U_{em} = \frac{H_t}{A} [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

2.1.4 Výpočet tepelné ztráty objektu

Pro výpočet tepelné ztráty objektu byla použita metodika v souladu s ČSN EN 12831, kde jsou definovány následující veličiny

$$\phi_i = \phi_{T,i} + \phi_{V,i}$$

ϕ_i celková navrhovaná tepelná ztráta

$\phi_{T,i}$ navrhovaná tepelná ztráta prostupem konstrukcí

$\phi_{V,i}$ navrhovaná ztráta větráním

[1]

2.2 Základní údaje

Jedná se o komplex dvou budov, který se nachází v Malé Hraštici v katastrálním území Velká Hraštice poblíž města Mníšek pod Brdy. Původní první objekt sloužil pouze k obytným účelům. V roce 2008 byla dokončena menší rekonstrukce tohoto objektu a v roce 2010 byla zkolaudována druhá budova, která slouží jako restaurace. Obě budovy mají společné inženýrské sítě: elektřinu a ústřední topení.

Oba tyto objekty jsou připojeny na jednom elektroměru. Budovy jsou po částečné rekonstrukci, nikoliv však dokonale zatepleny, pouze rozvody elektřiny a topení jsou zde nové. V budovách se nachází 2x zásobník teplé vody o objemu 180L, tudíž spadá do distribuční sazby akumulace D25d, pásmo NT trvá 8 hodin denně. Pro montáž fotovoltaického systému je zde k dispozici část střechy o vyměřené ploše 130 m² orientovaná

směrem na jihozápad, se sklonem 45 stupňů a azimutem +75 stupňů.¹ Průměrná roční spotřeba EE činí 12 MWh ročně.



Obrázek 1 Letecký pohled na budovy

Vnitřní rozměry budovy					Vnější rozměry budov				
Rodinný dům					Rodinný dům				
cm	šířka	délka	výška	plocha [m ²]	cm	šířka	délka	výška	plocha [m ²]
Ložnice	500	350	260	17,5	Dům	1280	860	8100	110,08
Obývací	500	390	260	19,5	S+K	730	430	8100	31,39
Chodba	400	250	260	10	Restaurace				
Pokoj	350	400	260	14	Restaurace	1725	450	295	77,625
Kuchyň	350	450	260	15,75					
Koupelna	200	345	240	6,9					
Sklad	380	400	240	15,2					
Kotelna	380	230	250	8,74					
Celkem				107,59					
Restaurace									
Kuchyň	350	320	280	11,2					
Lokál	350	745	280	26,075					
WC	350	560	280	19,6					

¹ Hodnoty jsou přepočteny přímo pro online software PVGIS

2.3 Faktury za teplo a elektřinu

2.3.1 Elektřina

Cena za elektrickou energii vychází pro rok 2017 ve fixní části na 2 119,- Kč. Variabilní část složky ceny za elektřinu je rozdělena zvlášť pro VT: 24 339,- Kč a NT: 9 023,- Kč. Ceny elektrické energie jsou uvedeny bez DPH.

Cena bez DPH	jednotky	2015					
<i>Dodávka</i>		Cena	Poč. jednotek	Celkem	Cena	Poč. jednotek	Celkem
VT	Kč/MWh	1511	6,282	9 492,10 Kč		X	
NT	Kč/MWh	895	5,763	5 157,89 Kč		X	
poplatek	Kč/měsíc	60	12,097	725,82 Kč		X	
<i>Distribuce</i>							
VT	Kč/MWh	1731,93	2,516	4 357,54 Kč	1727,62	3,766	6 506,22 Kč
NT	Kč/MWh	36,38	2,26	82,22 Kč	36,94	3,503	129,40 Kč
3x25A	Kč/měsíc	105	4,742	497,91 Kč	110	7,355	809,05 Kč
Daň	Kč/MWh	28,3	12,045	340,87 Kč	28,3	X	- Kč
Systém služba	Kč/MWh	119,25	4,776	569,54 Kč	105,27	7,269	765,21 Kč
OTE	Kč/měsíc	7,55	4,742	35,80 Kč	6,94	7,355	51,04 Kč
POZE	Kč/MWh	495	4,776	2 364,12 Kč	495	7,269	3 598,16 Kč
<i>celkové platby</i>							
Fixní	Kč/rok	2 119,63 Kč					
Variabilní VT	Kč/rok	24 339,71 Kč					
Variabilní NT	Kč/rok	9 023,55 Kč					
CELKEM	Kč/rok	35 482,88 Kč					

Tabulka 1 Faktura za elektřinu 2015

Cena bez DPH	jednotky	2016					
<i>Dodávka</i>		Cena	Poč. jednotek	Celkem	Cena	Počet jednotek	Celkem
VT	Kč/MWh	1511	6,135	9 269,99 Kč		X	
NT	Kč/MWh	895	5,585	4 998,58 Kč		X	
poplatek	Kč/měsíc	60	11,72	703,20 Kč		X	
<i>Distribuce</i>							
VT	Kč/MWh	1727,62	2,394	4 135,92 Kč	1647,53	3,741	6163,40973
NT	Kč/MWh	36,94	2,129	78,65 Kč	60,94	3,456	210,60864
3x25A	Kč/měsíc	110	4,645	510,95 Kč	121	7,581	917,301
Daň	Kč/MWh	28,3	11,72	331,68 Kč	28,3	0	0
Systém služba	Kč/MWh	99,71	4,523	450,99 Kč	99,71	7,197	717,61287
OTE	Kč/měsíc	6,94	4,645	32,24 Kč	6,58	7,581	49,88298
POZE	Kč/MWh	495	4,523	2 238,89 Kč	495	7,197	3562,515
<i>celkové platby</i>							
Fixní	Kč/rok	2 213,57 Kč					
Variabilní VT	Kč/rok	23 391,48 Kč					
Variabilní NT	Kč/rok	8 767,34 Kč					
CELKEM	Kč/rok	34 372,39 Kč					

Tabulka 2 Faktura za elektřinu 2016

Cena bez DPH	jednotky	2017					
Dodávka		Cena	Poč. jednotek	Celkem	Cena	Poč. jednotek	Celkem
VT	Kč/MWh	1511	5,58	8 431,38 Kč		X	
NT	Kč/MWh	895	5,676	5 080,02 Kč		X	
poplatek	Kč/měsíc	60	11,903	714,18 Kč		X	
Distribuce							
VT	Kč/MWh	1647,54	2,14	3 525,74 Kč	1624,71	3,44	5 589,00 Kč
NT	Kč/MWh	60,96	2,148	130,94 Kč	64,01	3,528	225,83 Kč
3x25A	Kč/měsíc	121	4,419	534,70 Kč	120	7,484	898,08 Kč
Daň	Kč/MWh	28,3	11,256	318,54 Kč	28,3	0	- Kč
Systém služba	Kč/MWh	99,71	4,288	427,56 Kč	93,94	6,968	654,57 Kč
OTE	Kč/měsíc	6,58	4,419	29,08 Kč	4,9	7,484	36,67 Kč
POZE	Kč/MWh	495	4,288	2 122,56 Kč	495	6,968	3 449,16 Kč
celkové platby							
Fixní	Kč/rok	2 212,71 Kč					
Variabilní VT	Kč/rok	21 002,67 Kč					
Variabilní NT	Kč/rok	8 952,64 Kč					
CELKEM	Kč/rok	32 168,01 Kč					

Tabulka 3 Faktura za elektřinu 2015

2.3.2 Seznam spotřebičů

Následující tabulka uvádí seznam všech spotřebičů, včetně celkových příkonů a ročních využití.

Restaurace					
spotřebič	el. Příkon [W]	Počet [ks]	Celkem [W]	Roční využití [h]	Spotřeba [Wh]
Žárovky	20	2	40	26,28	1051,2
Zářivka stropní	15	5	75	17,52	1314
Světlo WC	25	2	50	43,8	2190
Trouba	1400	1	1400	394,2	551880
Mikrovlnná trouba	1600	1	1600	481,8	770880
Rychlovarná konvice	1400	1	1400	700,8	981120
Lednice 1	585	1	585	1331,52	778939,2
Lednice 2	800	1	800	1314	1051200
Lednice 3	500	1	500	1314	657000
Chladič	500	1	500	1051,2	525600
Televize	120	1	120	2190	262800
Kompresor	1200	1	1200	0,2628	315,36
Myčka	1200	1	1200	849,72	1019664
Sklokeramická deska	1500	1	1500	481,8	722700
Rodinný dům					
Stolní PC	350	1	350	438	153300
Světlo	35	5	175	2628	459900
TV	85	1	85	438	37230
Světlo 2	120	1	120	2628	315360
lednice	60	1	60	8699	521950
Světlo 80	80	1	80	2628	210240
Světlo 90	90	1	90	262,8	23652
Pračka	1900	1	1900	262,8	499320
Světlo 60	60	2	120	262,8	31536
Boiler	2100	2	4200	8,76	36792
Zářivka	72	1	72	26,28	1892,16
Venkovní instalace					
Světlo	60	2	120	1314	157680
Čerpadlo	800	1	800	2190	1752000
Čerpadlo kotel	88	1	88	2628	231264
Celkem	16765		19230		11 758 770

Tabulka 4 Seznam spotřebičů a spotřeb

2.3.3 Vytápění

V daném objektu slouží jako zdroj tepla pro kombinované vytápění a ohřev teplé vody kotel na tuhá paliva od firmy SLOKOV štičkové údaje:

Tepelný výkon	9-27 kW
Hmotnost	215 kg
Třída kotle	1
Max. Přetlak otopné vody	2 bar
Max. pracovní teplota kotle	90 °C
Vodní objem kotle	46 l
Palivo	Hnědé uhlí, ořech 1
Výhřevnost minimální	17,2 MJ/kg

Tabulka 5 Štičkové údaje kotle na tuhá paliva

Tento stávající zdroj tepla, vyznačující se nízkou účinností spotřebovává velké množství tepla pro vytápění obou objektů. Značné množství energie je, vzhledem k současnému stavu budov, předáno do okolí. V následujících tabulkách jsou uvedeny faktury za uhlí v letech 2015-2017. Průměrná cena činí 590 Kč/MWh. Celková průměrná roční spotřeba energie na vytápění činí 73,15 MWh/rok. Za předpokladu účinnosti kotle 60 % je možné stanovit množství spotřebované energie pro vytápění obou objektů. Energie dodaná do otopné soustavy činí průměrně 43,89 MWh/rok.



Obrázek 2 Kotel na tuhá paliva

2017				výhřevnost při 20 MJ/kg [MJ]	kWh	MWh	Kč/MWh	Využito [MWh]
Datum	Množství [kg]	Cena [Kč]	Cena/100 kg					
11.01.2017	2910	9 899 Kč	340 Kč	58 200	16 167	16,17	612,31 Kč	9,70
17.02.2017	3080	10 435 Kč	339 Kč	61 600	17 111	17,11	609,84 Kč	10,27
04.05.2017	2900	9 544 Kč	329 Kč	58 000	16 111	16,11	592,39 Kč	9,67
24.11.2017	3020	10 177 Kč	337 Kč	60 400	16 778	16,78	606,58 Kč	10,07
23.12.2017	3130	10 548 Kč	337 Kč	62 600	17 389	17,39	606,59 Kč	10,43
Celkem	15040	50 603 Kč	336 Kč	300 800	83 556	83,56	605,62 Kč	50,13

Tabulka 6 Faktury za uhlí 2017

2016				výhřevnost při 20 MJ/kg [MJ]	kWh	MWh	Kč/MWh	Využito [MWh]
Datum	Množství [kg]	Cena [Kč]	Cena/100 kg					
11.01.2016	3030	9 696,00 Kč	320 Kč	60 600,00	16 833,33	16,83	576,00 Kč	10,10
26.02.2016	2960	9 620,00 Kč	325 Kč	59 200,00	16 444,44	16,44	585,00 Kč	9,87
04.10.2016	3090	10 043,00 Kč	325 Kč	61 800,00	17 166,67	17,17	585,03 Kč	10,30
23.11.2016	2980	9 685,00 Kč	325 Kč	59 600,00	16 555,56	16,56	585,00 Kč	9,93
Celkem	12060	39 044,00 Kč	324 Kč	241 200,00	67 000,00	67,00	582,75 Kč	40,20

Tabulka 7 Faktury za uhlí 2016

2015				výhřevnost při 20 MJ/kg [MJ]	kWh	MWh	Kč/MWh	Využito [MWh]
Datum	Množství [kg]	Cena [Kč]	Cena/100 kg					
15.01.2015	3060	9 941,00 Kč	325 Kč	61 200,00	17 000,00	17,00	584,76 Kč	10,20
23.02.2015	2900	9 334,00 Kč	322 Kč	58 000,00	16 111,11	16,11	579,35 Kč	9,67
21.04.2015	3070	9 881,00 Kč	322 Kč	61 400,00	17 055,56	17,06	579,34 Kč	10,23
03.11.2015	3370	10 784,00 Kč	320 Kč	67 400,00	18 722,22	18,72	576,00 Kč	11,23
Celkem	12400	39 940,00 Kč	322 Kč	248 000,00	68 888,89	68,89	579,77 Kč	41,33

Tabulka 8 Faktury za uhlí 2015

2.4 Současný stav obalových konstrukcí

Pro výpočet tepelných ztrát byly použity následující nástroje:

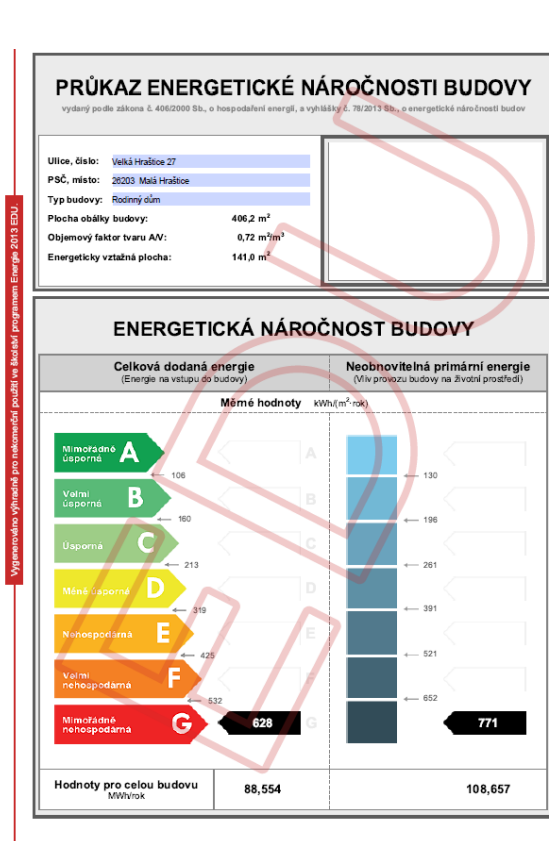
Pomocí programu *Teplo* byly stanoveny jednotlivé součinitele prostupu tepla jednotlivými vrstvami obou budov:

	Původní stav		Požadované hodnoty	
	Rodinný Dům	Restaurace	Nízkoenergetický dům	Pasivní dům
Konstrukce	U [W/m ² K]	U [W/m ² K]	U [W/m ² K]	U [W/m ² K]
Obvodová stěna (vzduch)	1,298	0,301	0,3	0,08-0,15
Obvodová stěna (zemina)	0,774	0,825	0,45	≤ 0,15
Okno osazené	2,5	2,5	1,5	≤ 0,85
Střecha	0,269	0,205	0,24	0,06 – 0,1
Strop do nevytápěného prostoru	0,269	0,205	0,24	0,1 – 0,15
Dveře vchodové	4	4	1,7	1,2

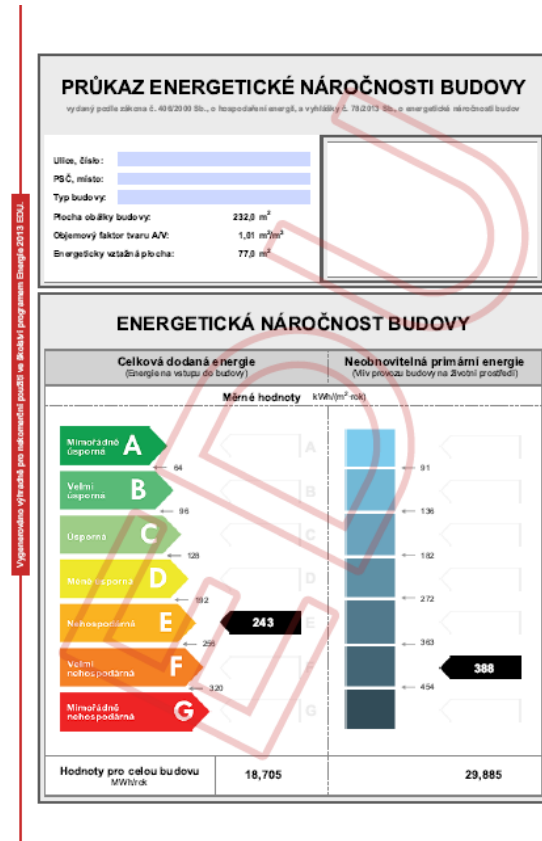
Tabulka 9 Požadované hodnoty U

2.5 Vyhodnocení stávajícího stavu

Údaje z programu *Teplo* byly následně dosazeny do programu *Energie*, kde je stanovena současná kategorie energetické náročnosti obou budov. Výstupem z *Energie* jsou průkaz energetické náročnosti obou budov. Následující obrázky ilustrují současné kategorie energetické náročnosti (objekty spadají do E a G) dle vyhlášky MPO 78/2013 Sb. Na základě vypočtených dat lze tedy dále navrhnout úsporná opatření pro snížení energetické náročnosti obou budov.



Obrázek 3PENB RD



Obrázek 4PENB Restaurace

3 Legislativa norem a podpory v ČR

Novela zákona č.406/2000 Sb. o hospodaření energií zákonem č. 318/2012 Sb. tento zákon má za úkol implementovat energetickou náročnost budov. Následně je prováděcí předpis vyhláška č. 78/2013 Sb.

Tento zákon se týká i rozsáhlejších rekonstrukcí. Pokud budova prochází tzv. Větší změnou, je vyžadováno snížení energetické náročnosti. Pod pojmem „větší změna“ se rozumí změna dokončené stavby na více než 25 % celkové plochy obálky budovy.

3.1.1 Vyhláška MPO ČR 78/2013 Sb. – O energetické náročnosti budov

Vyhláška zpracovává předpis EU – ohledně optimální úrovně energetické náročnosti budov, metody výpočtu energetické náročnosti budov, vzory posouzení proveditelnosti, vzory stanovení doporučení opatření pro snížení EN, vzor a obsah průkazu a jeho zpracování, umístění průkazu v budově. Definiuje základní pojmy – Referenční budovu, což je výpočtově definovaná budova stejného druhu, tvaru, orientace s referenčními vlastnostmi budovy. Dále typické venkovní a vnitřní podmínky, přirozené a nucené větrání. Následně definiuje ukazatele energetické náročnosti budov:

- celková primární energie za rok
- neobnovitelná PE za rok
- celková dodaná energie za rok
- průměrný součinitel prostupu tepla

Stanovuje, jak mají být výpočty počítány, co máme pro výpočty používat, co mohou být vstupní údaje a co mají být výstupy. Pro výpočet dodané energie používá součet dílčích dodaných energií (spotřeba a pomocné energie). Tedy energie na vytápění, chlazení, větrání, úpravu vlhkosti vzduchu, příprava teplé vody a osvětlení. Pro výpočet primární energie používá součet součinů dodané energie v rozdělení po jednotlivých energonositelích. V požadavcích na energetickou náročnost budovy stanovuje na nákladově optimální úrovni ke splnění požadavků na EN. Zohledňuje posouzení ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie jako jsou technické možnosti instalace zařízení, ekonomická proveditelnost pomocí dosažení prosté doby návratnosti. Součástí protokolu je toto posouzení. Za alternativní systém lze považovat místní systém dodávek z OZE, KVET a tepelné čerpadlo. Definiuje obsah průkazu (účel zpracování, informace o hodnocené budově, stavební prvky a konstrukce, technické, ekonomické a ekologické posouzení a doporučená opatření. Průkaz se umístí vedle vchodu do budovy na vnější stranu budovy[2]

3.1.2 Norma ČSN 38 3350

O zásobování teplem, všeobecné zásady. Jedná se o normu platnou pro územní plánování a projektování soustav zásobování teplem městských oblastí, sídlišť a průmyslových závodů. Dále je zde definováno, jak orientačně stanovit průměrnou denní venkovní teplotu vzduchu pro zahájení topného období vztaženo k hmotnosti obvodové stavební konstrukce dle této normy. Výsledkem je možnost určení střední venkovní teploty pro zahájení a ukončení otopného období na základě znalosti průměrné plošné hmotnosti obvodové stavební konstrukce. Díky znalosti těchto hodnot je možné správně určit počet dnů otopného období v roce.

Objekty se nachází na teplotním území Příbram, kde návrhová venkovní teplota činní $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a definované průměrné venkovní měsíční teploty činní[3]

leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
-2,5	-1	2,6	7,1	12,1	15,4	17	16,5	12,9	8	2,8	-0,8

Tabulka 10 Průměrné venkovní teploty měsíčně

3.1.3 ČSN EN 12831-1

Norma stanovuje postup výpočtu dodávky tepla, které je potřebné k dosažení navrhované vnitřní teploty. Norma zohledňuje tepelné mosty, ale nezapočítává tepelné zisky.

3.1.4 Norma ČSN 73 0540-2

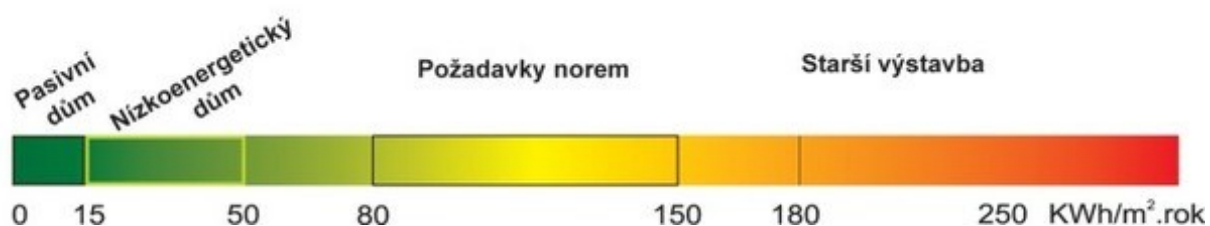
Norma se zabývá šířením tepla konstrukcí a obálkou budovy, definuje hodnoty součinitelů prostupu tepla jako požadované, doporučené a hodnoty pro pasivní budovy. Následně hodnotí obálku budovy jako celek prostřednictvím průměrného součinitele prostupu tepla. Dále jsou zde hodnoceny podlahové konstrukce z hlediska odnímatelnosti tepla. V další kapitolách pak upřesňuje šíření vlhkosti, vzduchu konstrukcí a obálkou budovy a tepelnou stabilitu místností. Ve druhé kapitole jsou přílohy z čehož je součástí A Pokyny pro navrhování pasivních a nízkoenergetických staveb s přesnou definicí hodnot, které rozšiřují text pro budovy s velmi nízkou energetickou náročností s využitím norem TNI 73 0329 a TNI 73 0330. Tato norma definuje energetický štítek budovy, nikoliv však průkaz energetické náročnosti, který je definován výše zmíněnou vyhláškou 78/2013 Sb. [4]

3.1.5 Pasivní a nízkoenergetický standard

Nízkoenergetické domy jsou charakteristické nízkou spotřebou tepla na vytápění. Dle normy TNI 73 0329 (pro rodinné domy) považujeme za nízkoenergetickou stavbu takový

objekt, který nepřekračuje 50 kWh/m².rok a zároveň součinitel prostupu tepla obálkou budovy nepřekračuje doporučenou hodnotu.

Oproti tomu pasivní standard definuje roční spotřebu tepla pro rodinné domy s maximální hranicí 15 kWh/m² ročně. Cílem je odstranění potřeby klasického způsobu vytápění pomocí snížení spotřeby tepla prostřednictvím využití co nejmodernějších materiálů, co největší tloušťku izolace. Dále je zde faktor polohy objektu a maximální využití tepelných zisků.



Obrázek 5 Škála třídění budov

[5]

3.1.6 Hodnocení energetické náročnosti budov

K celkovému hodnocení energetické náročnosti obou budov slouží Průkaz energetické náročnosti budov, který byl vygenerován prostřednictvím programu *Energie*. Princip tohoto hodnocení je detailněji popsán v kapitole 2.1.1 *Vyhláška MPO ČR 78/2013 Sb. – O energetické náročnosti budov*[5]

3.1.7 Požadované hodnoty součinitele prostupu tepla u obalových konstrukcí

Norma ČSN 73 0540-2 stanovuje pro jednotlivé konstrukce součinitele prostupu tepla U pro pasivní domy dle následující tabulky.

Konstrukce	U [W/m ² K]
Obvodová stěna (vzduch)	0,08-0,15
Obvodová stěna (zemina)	≤ 0,15
Okno osazené	≤ 0,85
Střecha	0,06 – 0,1
Strop do nevytápěného prostoru	0,1 – 0,15

Tabulka 11 Požadavky pasivního domu

3.1.8 Nová zelená úsporám

Jedná se o program podporující snižování energetické náročnosti budov. Hlavním cílem je snižování emisí skleníkových plynů (zejména CO₂). Program se zabývá: výstavbou a rekonstrukcí rodinných a bytových domů. V závislosti na energetické úspoře program hradí až 50 % z celkových způsobilých výdajů. Tento program je organizován Státním fondem pro životní prostředí ČR a jedná se o jeden z nejefektivnějších programů zabývajících se úsporou energií pro bytové a rodinné domy. Podpora je zaměřena dále na efektivní využívání zdrojů energie společně s OZE. Cílem jsou národní ekonomické zájmy společně se sociálními přínosy (zlepšení kvality bydlení obyvatelstva). [6][7]

4 Návrh na opatření pro snížení energetické spotřeby

4.1 Návrhy opatření na snížení nákladů a spotřeby elektrické energie

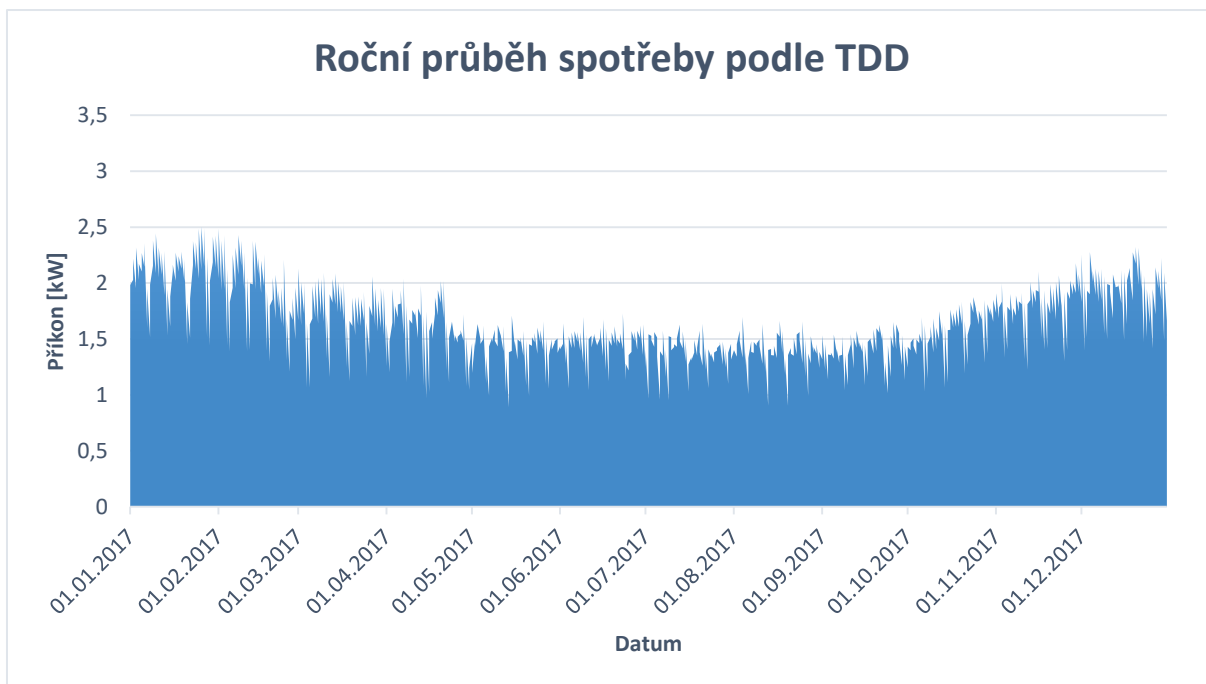
Pro tuto část byl vytvořen graf denního diagramu zatížení pro rok 2017 (zdroj OTE). Data, vybraná z typického diagramu, musela být přepočtena podle aktuálních spotřeb obou objektů s ohledem na výkonovou náročnost. Pro přepočtení byl použit vzorec

$$O_h = O_r \frac{r_h}{\sum_{h=1}^{8760} r_h}$$

O_r – roční odběr v daném místě

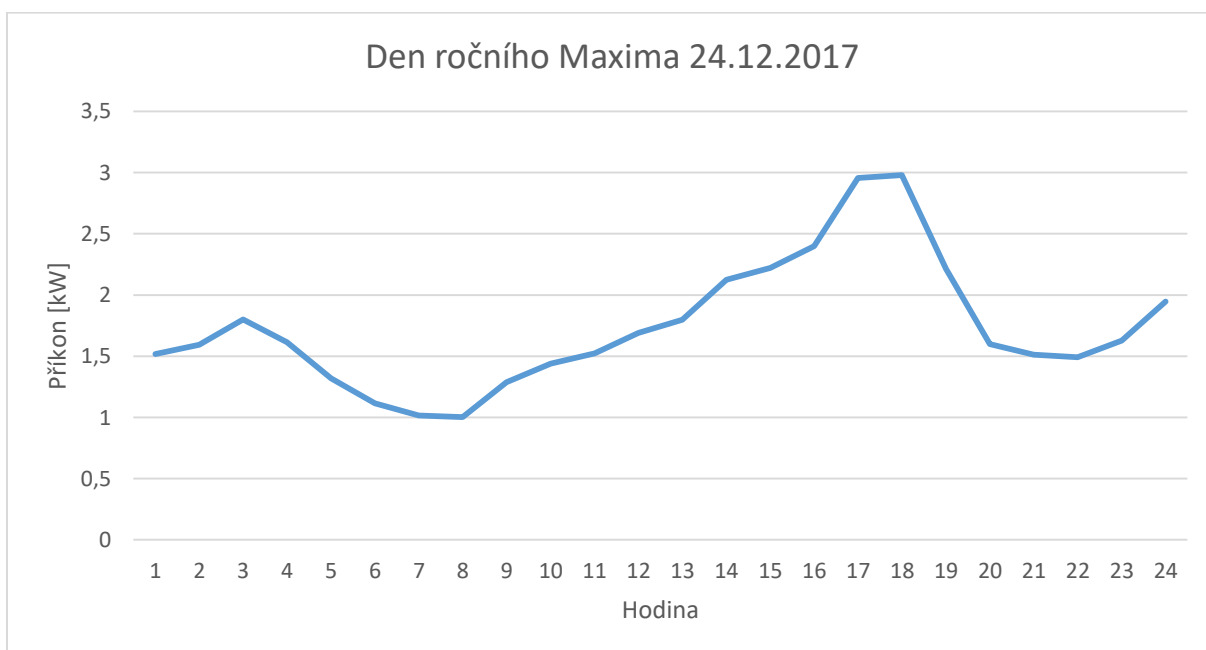
O_h – odhadnutá spotřeba v danou hodinu

r_h – přepočtené TDD v sazbě D25d pro Středočeský kraj v roce 2017

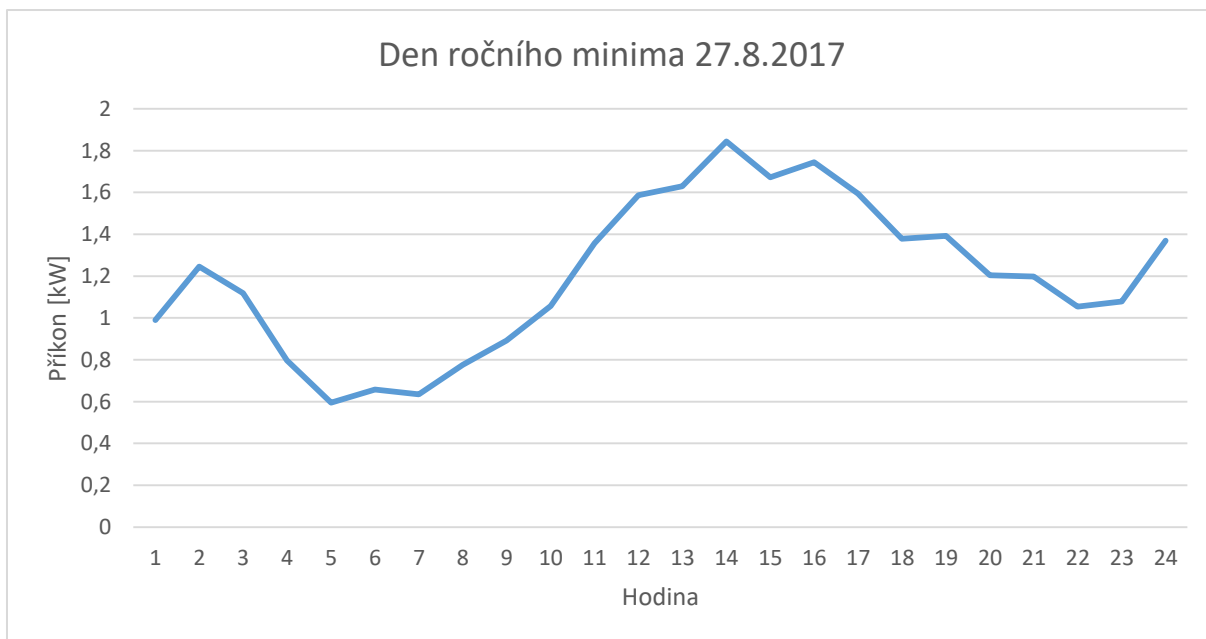


Graf 1TDD 2017

Podle typových diagramů dodávky elektrické energie, které jsou k dispozici na stránkách operátora trhu byla přepočtena roční spotřeba elektřiny podle rovnice výše. Následně byly vybrány dny ročního maxima a minima



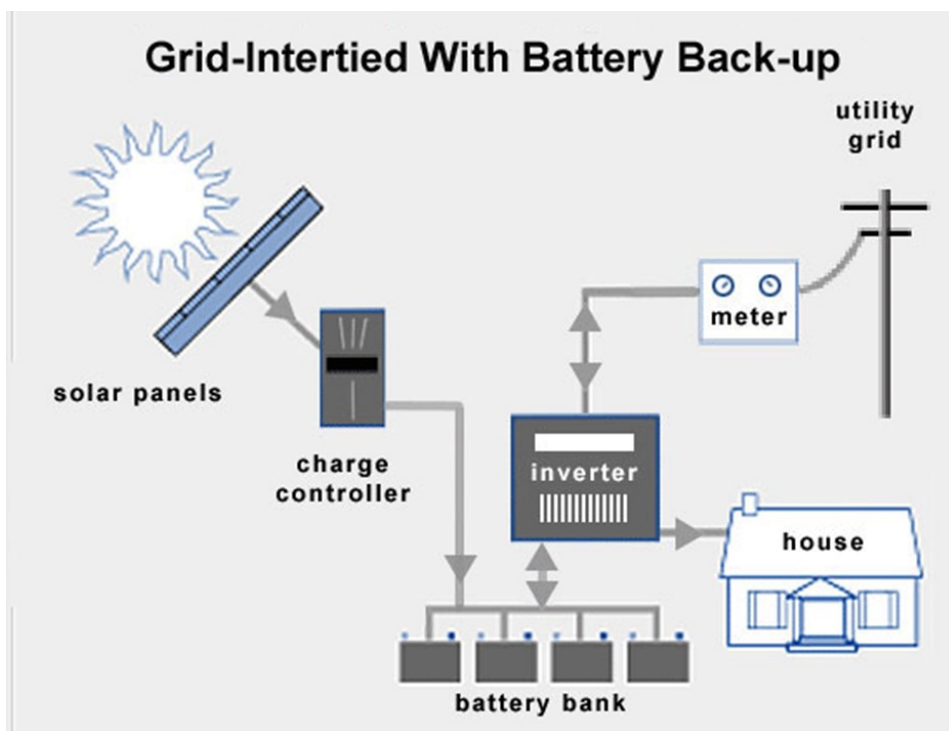
Graf 2TDD ročního maxima



Graf 3TDD ročního minima

4.1.1 Opatření č. 1 - Možnost hybridního FV systému

Pro montáž FV systému je k dispozici střecha domu o plošné výměře 130 m² orientovaná směrem na jihozápad se sklonem 45° a azimutem +75°.



Obrázek 6 Schéma hybridního FV systému

Výhody:

- a) Efektivní využití většiny vyrobené energie a pokrytí téměř poloviny vlastní spotřeby.
- b) Díky optimální kapacitě bateriového systému umožňuje odebírat energii ze sítě pouze v NT pásmech, a to i při nulové výrobě solárních panelů.
- c) Částečná nezávislost na elektrizační soustavě a schopnost pracovat v ostrovním režimu

4.1.1.1 FV panel

Fotovoltaický panel byl zvolen vzhledem k porovnání několika dodavatelů. K dispozici je zde mnoho dodavatelů, z čehož je možnost nejlepší poměr cena/výkon.

Zvoleno bylo celkem:

Počet panelů: 37

Výkon jednoho panelu: 270 Wp

Celkový instalovaný výkon: 9990 Wp

4.1.1.2 Baterie

Zde se uvažovalo použití klasických olovených baterií, či použití nových LiFePO₄ baterií. Navrhují zvolit druhou variantu, a to z důvodu životnosti a údržby, neboť klasické olovené baterie jsou náročnější na výkyvy a zároveň je třeba jejich výměny, podle výpočtů každých 5 let. Oproti tomu LiFePO₄ baterie mají při daném využití předpokládanou životnost přes 13 let². V důsledku tedy LiFePo₄ vyjdou levněji. Kapacitu baterií uvažují 16,64 kWh. *//Kvůli měniči musí být baterie zapojeny sériově (napětí).//*

4.1.1.3 Měnič

Měnič byl zvolen hybridní od výrobce Infisolar 3f s nominálním příkonem 9 kW, u kterého výrobce garantuje vhodnost připojení k FVE o celkovém výkonu až 12 kWp³. Tento měnič dále disponuje možností asymetrické dodávky energie do jednotlivých fází. Další výhodou tohoto prvku je možnost paralelního spojení 2 až 3 dalších měničů o celkovém příkonu až 30 kW. Pro tuto elektrárnu byl zvolen hybridní měnič, neboť splňuje požadavky pro provoz kombinovaného fotovoltaického systému s bateriemi. Tento měnič splňuje funkci invertoru a střídač napětí. Tento měnič umožňuje dobíjet baterie z fotovoltaiky a zároveň v době NT podle okamžitých podmínek.

² Při hloubce cyklu 80 % je udáváno výrobcem alespoň 5000 a uvažuje se jeden plný cyklus denně

³ Platí pro ČR.

//Podle ceníků dodavatele (ČEZ Elektrina pro soláry) se daný odběratel získá výhodnější sazbu díky provozování výroby elektřiny. Tudiž z původních 1515 Kč/MWh dojde k poklesu na 1391 Kč/MWh za silovou část v dodávce elektrické energie, což je dále uvažováno při výpočtech ekonomické efektivity. Dále se uvažuje dotace o výši maximálně 50 % výdajů na fotovoltaický systém maximálně však 150 000,- Kč. Důležitým parametrem je zde minimální roční výroba energie, která podle požadavků činí 4 000 kWh/rok. V tomto projektu je tato částka uvažována, neboť náklady na celý systém vč. baterií činí téměř 402 tis. Kč.//[8][9]

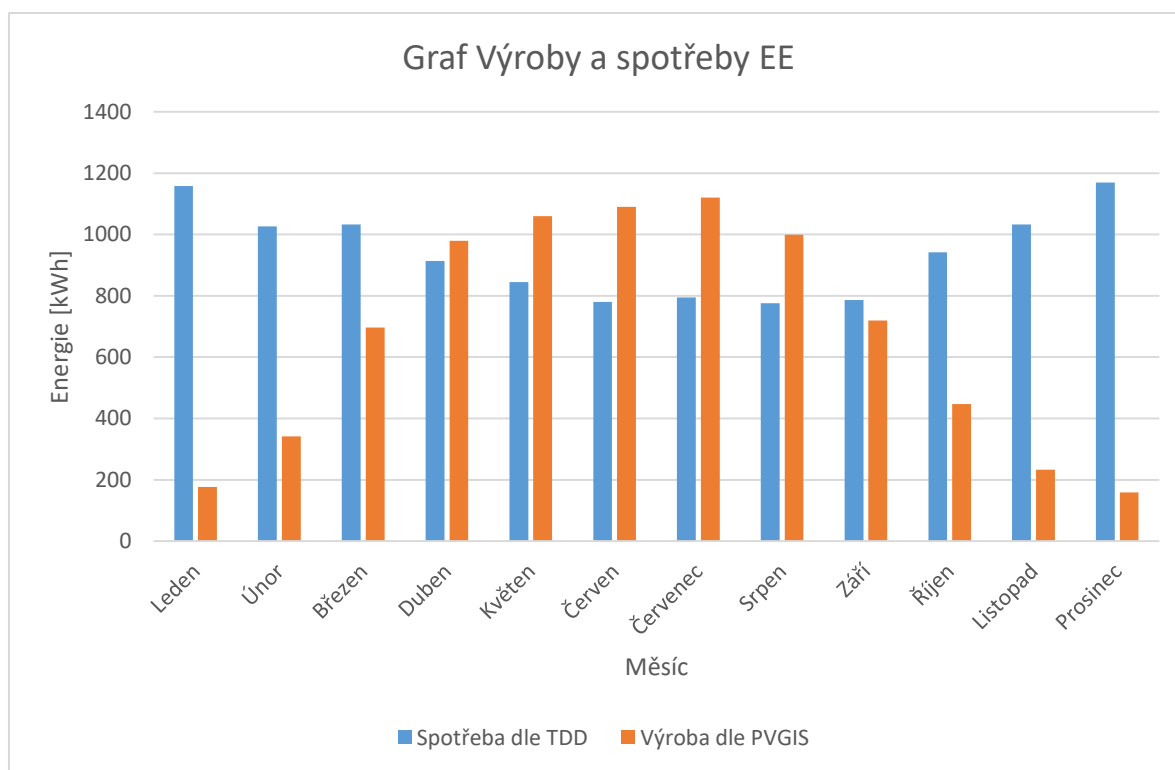
Investice	1. rok	13. rok
FV panely	-118437	0
Hybridní měnič	-49500	-49500
LiFePo4 baterie	-193700	-193700
Návrh, montáž, naprogramování měniče, revize	-40000	-5000
Dotace	150000	0
Celková	-251637	-248200

Tabulka 12 Investiční výdaje FV systému⁴

4.1.2 Bilance spotřeby a výroby

Pomocí online softwaru PVGIS jsem vymodeloval roční výrobu a spotřebu elektrické energie.

⁴ Náklady na údržbu stanoveny po konzultaci s technikem firmy Solar partner s.r.o Solar partner [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://shop.solarpartner.cz/>



Graf 4 Bilance výroby a spotřeby EE[10]

4.1.3 Změna distribuční sazby

Pro možnost změny distribuční sazby na sazbu D57d vycházím z cenového rozhodnutí ERÚ v roce 2018. jedná se o dvoutarifní sazbu s operativním řízením nízkého tarifu po dobu minimálně 20 hodin denně. Sazba je platná od dubna 2016. Nejdůležitější podmínky pro udělení tohoto tarifu jsou následující: „*Součtový instalovaný příkon přímotopných nebo hybridních elektrických spotřebičů nebo systému vytápění s tepelným čerpadlem, včetně instalovaného příkonu akumulčního spotřebiče pro ohřev teplé užitkové vody, je-li takový spotřebič instalován, musí činit nejméně 40 % příkonu odpovídajícího hodnotě hlavního jističe před elektroměrem v odběrném místě. Distributor přidělí odběrateli tuto sazbu i tehdy, jestliže je součtový příkon přímotopných nebo hybridních elektrických spotřebičů nebo systému vytápění s tepelným čerpadlem nižší než 40 % příkonu odpovídajícího hodnotě hlavního jističe před elektroměrem, pokud odběratel prokáže, že výkon těchto elektrických spotřebičů odpovídá tepelným ztrátám vytápěného objektu nebo odpovídá minimálně 80 % pokrytí dílčí potřeby energie na vytápění uvedené v průkazu energetické náročnosti budovy.*“[11]

Tato změna by měla za následek pokles cen za distribuci elektrické energie při současné spotřebě. Z výše uvedených podmínek stanovených ERÚ se dá předpokládat

dosažení tarifní sazby D57d. Pokud bude nutná změna jističe se projeví z 3x25A na 3x32A se projeví na vyúčtování. Pro porovnání sazeb bylo využito současného ceníku ČEZ Prodej, elektřina na dobu neurčitou, platný od 1.1.2019. Ceny jsou uvedeny bez DPH. Následující tabulka ilustruje možné dopady na ceny za elektrickou energii jak při změně tarifní sazby, tak při navýšení jističe pro současnou a uvažovanou sazbu. [12]

		D 25d	D 57d
CELKEM 3x25 A	Kč	34 950,53 Kč	28 371,14 Kč
	Kč/MWh	3 177,32 Kč	2 579,19 Kč
Celkem 3x32 A	Kč	35 406,53 Kč	29 343,14 Kč
	Kč/MWh	3 218,78 Kč	2 667,56 Kč

Tabulka 13 Porovnání cen pro tarifní struktury

4.2 Návrhy opatření pro snížení spotřeby tepla a nákladů na vytápění a přípravu teplé vody

Pro náhradu současného tepelného zdroje je za potřebí vybrat vhodný energetický nosič, tzv. energonositel, což je palivo, kterým se nahradí současný stav tak, aby daná opatření měla co nejmenší dopad na životní prostředí. Ve stávajících podmínkách, za uvážení potřebného množství tepla a geografické poloze objektu pro dané požadavky odpovídají 3 následující náhradní zdroje:

1. Tepelné čerpadlo
2. Elektrokotel
3. Kotel na biomasu

Nutno je také doplnit, že rozvod tepla po obou budovách je prostřednictvím ústředního topení s radiátory, modernizovaného v roce 2008. uvažují tedy ponechání současného stavu a pouze výměnu zdroje tepelné energie. Vzhledem k charakteru zdroje energie pro toto tepelná čerpadla a elektrokotle se daný odběratel může dostat do nižší tarifní sazby za regulovanou složku platby za elektrickou energii, pokud splňuje požadavky stanovené ERÚ. Požadovaný tepelný spád u radiátorů je v rozmezí 55-45 °C.

4.2.1 Opatření č. 2 - Tepelné čerpadlo

Pro vytápění objektů lze jako zdroj použít tepelné čerpadlo. Toto zařízení může používat více způsobů získávání energie. V této konkrétní práci se budu zabývat pouze kompresorovým tepelným čerpadlem, což je nejzákladnější konstrukce tohoto zařízení. Tepelná čerpadla fungující na principu parního cyklu využívají pracovní látku, která je prostřednictvím kompresoru stlačována a následně předává tepelnou energii. Kompresor,

kteřý je srdcem tohoto zařízení je velice choulostivá součást. při nesprávném navrhování výkonu tepelných čerpadel může docházet k nadbytečnému spínání, což má za následek snížení životnosti kompresoru. Dalším problémem je předimenzování, které obnáší ekonomické dopady v podobě pořizovací investice, nebo naopak poddimenzování, kdy tepelné čerpadlo nedokáže vyrábět potřebné množství tepla a musí být zapojen přídatný zdroj. Tento přídatný zdroj bývá většinou elektrokotel, který má vysokou spotřebu elektrické energie a ekonomické důsledky se projeví v podobě provozních nákladů.[13]

4.2.1.1 Topný faktor

Jedná se o základní ukazatel účinnosti TČ. Výpočet topného faktoru tepelného čerpadla COP je udán následující rovnicí:

$$\varepsilon_t = \frac{Q_k}{A}$$

kde Q_k – celkový tepelný výkon získaný z kondenzátoru čerpadla

ε_t – Topný faktor

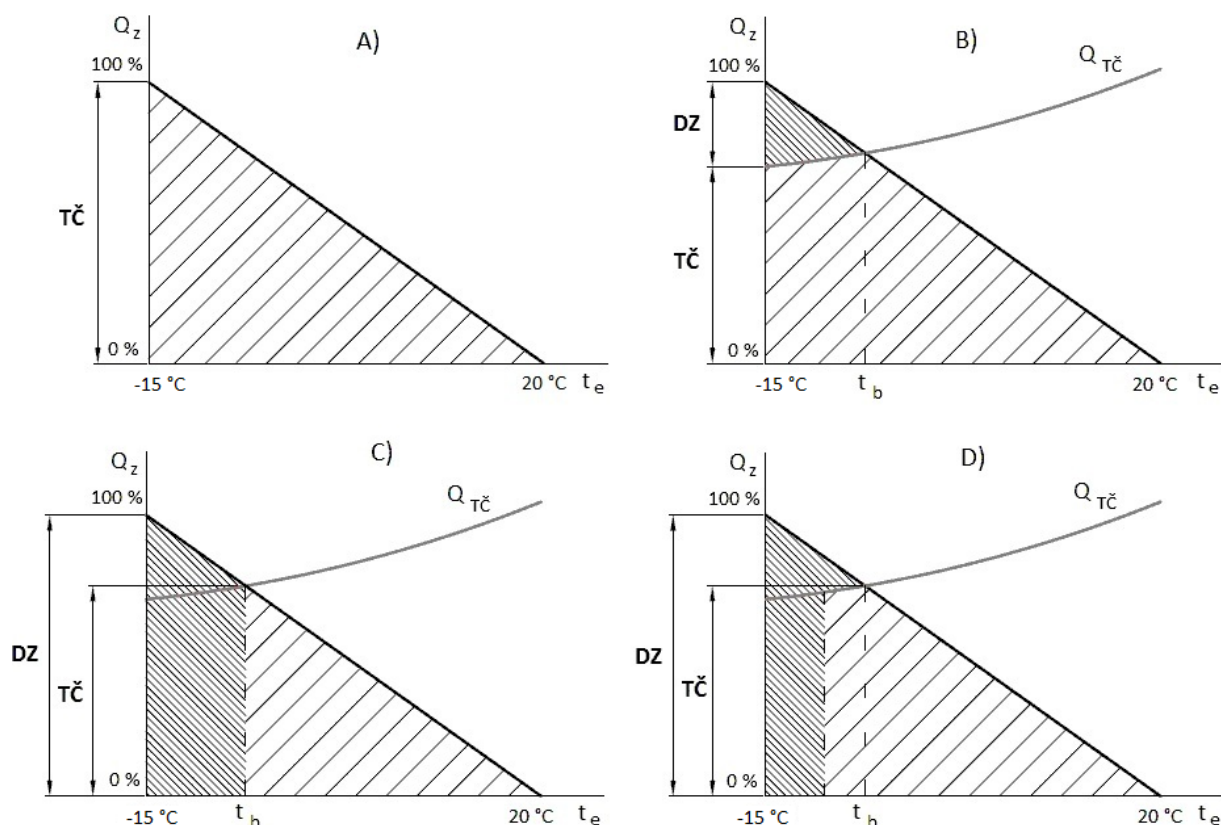
A – elektrický příkon kompresoru pro provoz čerpadla

U topného faktoru platí pravidlo čím větší, tím je provozování zařízení výhodnější z hlediska provozních nákladů. Topné faktory lze dále dělit na dvě kategorie:

1. COP (coefficient of performance) – měřeno při laboratorních podmínkách
2. SCOP (seasonal coefficient of performance) – průměrná hodnota v rámci celé topné sezóny.

Vzhledem k věrohodnosti laboratorních podmínek oproti praktickým se ukazuje SCOP jakožto lepší kritérium pro výběr TČ. Výpočet pro tento ukazatel je přesně definován v normě ČSN EN 14825 a vychází z celkové roční bilance produkce tepla hodnoceného TČ a pokrytím tepelné ztráty budov v otopné sezóně za standardních klimatických podmínek. Mimo jiné zahrnuje detailní ztráty vlivem cyklování TČ, energetické potřeby při rozběhu, v pohotovostním režimu, udržení kompresoru na požadované hodnotě apod. Vzhledem ke skutečnosti, že SCOP se počítá pro přesnou návrhovou ztrátu budovy je zde nezbytné správně

určit tzv. bod bivalence což je hodnota je výkon TČ roven tepelné ztrátě. [14]



Obrázek 7 Schéma COP TČ

Nyní je třeba definovat, jak bivalence funguje a jak správně zvolit provedení TČ v kombinaci s tzv. bivalentním zdrojem. Na obrázku jsou ilustrovány čtyři základní postupy dimenzování TČ:

- a. Monovalentní
- b. Paralelně bivalentní
- c. Alternativně bivalentní
- d. Bivalentně částečně paralelní

[15][16]

3. TČ země-voda

Tepelné čerpadlo využívající geotermálního tepla hornin v podloží. Energie je získávána prostřednictvím kolektoru. Tento kolektor může být umístěn buďto plošně, nebo pomocí hlubinného vrtu, do kterého se kolektor vloží. Výhodou těchto čerpadel je vysoký topný faktor kvůli menšímu kolísání teplot v určité hloubce. Díky výše zmíněným faktorům mohou tyto čerpadla pracovat v monovalentním režimu. TČ země-voda se vyznačuje vysokými investičními náklady a nízkými variabilními

Princip, který využívá plošný kolektor není dále uvažován z důvodu malého prostoru pro umístění a zároveň z hlediska podloží (břidlice), do kterého by bylo technologicky i finančně náročné toto řešení instalovat. Hlubinný vrt zde též není možný, protože není prostor pro potřebnou techniku, která by umožnila tento koncept aplikovat.

4. TČ vzduch-voda

Systém vzduch-voda využívá podobný princip jako předchozí systém s rozdílem, že teplo z okolního vzduchu je odebíráno prostřednictvím chladiva kolujícího ve venkovním lamelovém trubkovém výparníku. Vzhledem k nízkému obsahu tepla ve vzduchu, je za potřeby velkého objemu vzduchu procházejícího výměníkem. Pro dostatečné zásobování výměníku vzduchem je potřebný výkonný ventilátor, což je příčinou vzniku určitého hluku. Z tohoto důvodu je nutné zvolit vhodné umístění výměníku tak, aby nebyl rušivým elementem pro okolí. Chladivo, které je mírně zahřáté tímto vzduchem je dále stlačeno kompresorem a převedeno na vyšší teplotu, která je následně využitelná k vytápění objektu. Následující tabulka uvádí finanční údaje pro aplikaci tohoto opatření:[17]

Položka	Cena vč. DPH 15 % resp. 21 %
Tepelné čerpadlo AWHP 6 MW/E	155 583,50 Kč
Programovatelný termostat	3 490,00 Kč
Přepínací ventil vytápění/TV	4 580,00 Kč
Sada hydraulického propojení TČ-ZÁSOBNÍK TV	1 980,00 Kč
Propojovací sada chladiva	2 400,00 Kč
Montáž strojovny (včetně ostatního materiálu)	29 900,00 Kč
Montáž elektroinstalace (včetně ostatního materiálu)	8 900,00 Kč
Navýšení rezervovaného příkonu	3 500,00 Kč
Jistič 3x32A	434,20 Kč
Celkem	210 767,70 Kč
Dotace	124 466,80 Kč
Celkem po obdržení dotace	86 300,90 Kč

Tabulka 14 Investiční výdaje TČ

4.2.2 Opatření č. 3 - Elektrokotel

Jedná se o vhodný zdroj pro nízkoenergetické a pasivní domy. Elektrokotle se vyznačují nízkou počáteční investicí a vysokou účinností. Další výhodou tohoto zdroje je pak snadná regulace v rozsahu celého výkonu zařízení bez nutnosti revizí v uvažované době provozu. Toto zařízení je uživatelsky přívětivé



Obrázek 8 Elektrokotel

z hlediska náročnosti na obsluhu. Velkou nevýhodou je zde vyšší cena za provozní náklady, které s sebou provoz elektrokotle přináší. Další uplatnění se nachází v podobě doplňkového zdroje například pro tepelná čerpadla vzduch-voda, kdy při nízkých teplotách toto zařízení pracuje neefektivně. Tento zdroj vyžaduje minimální servis prováděný odborníkem. Při uvažování elektrokotle je důležité zohlednit navýšení rezervovaného příkonu a jističe. Díky tomuto opatření se provozovatel dostává do sazby D57d, což přináší nižší cenu za regulovanou složku elektrické energie. NT trvá po dobu 20 hodin denně a distributor ovládá dané zařízení skrze HDO. Tato skutečnost by neměla mít vliv, při uvažování nízké tepelné ztráty z hlediska celodenního vytápění.

Položka	Cena vč. DPH 15 %
Montáž, revize	3 450,00 Kč
Elektrokotel	13 160,60 Kč
elektrický materiál	3 450,00 Kč
Topenářský materiál	2 300,00 Kč
Modul pro regulaci	3 792,70 Kč
Komplet	27 172,20 Kč
Navýšení rezervovaného příkonu	3 500,00 Kč
Jistič 3x32A	434,20 Kč
Celkem	57 259,70 Kč

Tabulka 15 Investiční výdaje Elektrokotel

[11] [18]

4.2.3 Opatření č. 4 - Kotel na pelety

Jedná se o kotel ATMOS s vysokou účinností spalování pohybující se na rozmezí 90-93 %. Tepelný výkon tohoto zdroje je 3-10 kW což odpovídá následujícím požadavkům. Tento kotel je konstruován pro dokonalé spalování pelet tím způsobem, že na straně kotle je zabudovaný hořák, který si prostřednictvím šnekového dopravníku samočinně reguluje množství odebíraných pelet ze zásobníku, který je umístěn v horní části kotle. Veškerá činnost je regulována elektronicky.

Pro správné fungování tohoto kotle je potřebné



Obrázek 9 Kotel na pelety

dostatečné množství přiváděného vzduchu. Při nesplnění této podmínky nastává zvýšení emisí škodlivých látek v kouřových plynech. Výhodou provozu kotle na pelety je minimální dopad na životní prostředí. Díky automatizovanému systému si kotel sám reguluje správnou teplotu a prohořívání tak, aby co nejméně znečišťovalo okolí. Hořák disponuje pneumatickým systémem pro čištění. Interval čištění udává výrobce jednou za 5-14 dní podle kvality pelet a požadovaného výkonu. Při použití nesprávných pelet je pak nutné čistit hořák jednou denně. [19]

Položka	Cena s DPH 15 % resp. 21 %
Atmos D 10 PX Autom kotel na pelety s dopravníkem a zásobníkem	70 083,00 Kč
Hořák pro pelety ATMOS A25	19 136,00 Kč
Regulus Oběhové čerpadlo ALPHA 2 L 25-40 180	3 411,00 Kč
Atmos AZPD300 zásobník na pelety	20 001,00 Kč
Montáž	8 000,00 Kč
Celkem	120 631,00 Kč
Dotace	56 066,40 Kč
Celkem po přiznání dotace	64 564,60 Kč
Cena pelet za 1 kg	5,10 Kč

Tabulka 16 Investiční náklady kotle na pelety

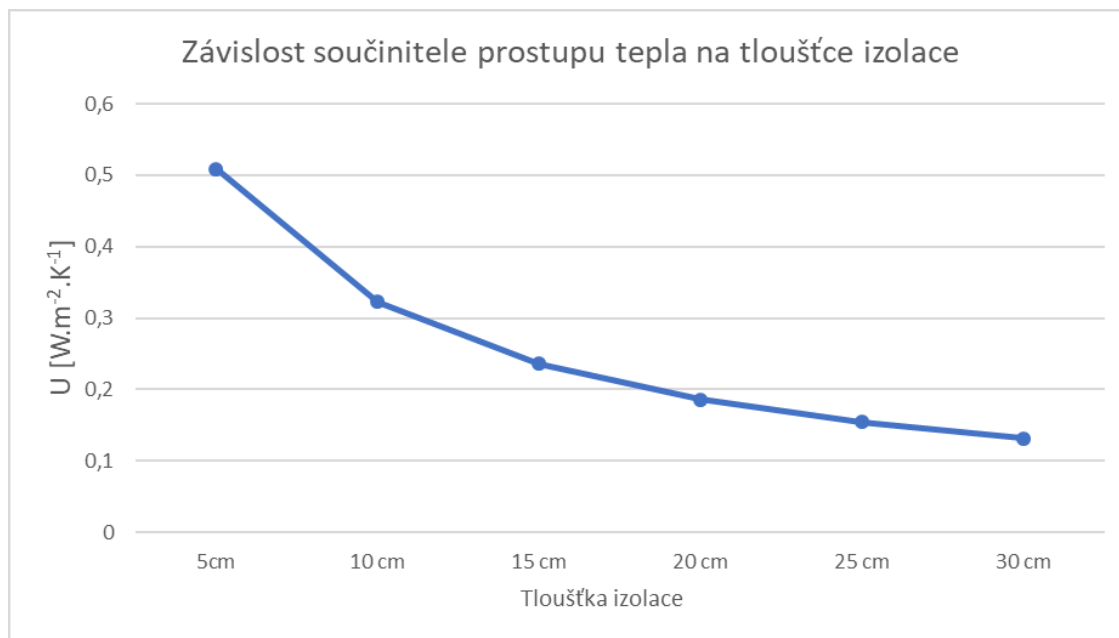
4.2.4 Opatření č. 5 - Větrání s rekuperací

V další části energetických úspor se uvažuje s instalací větracího systému s rekuperací. Tento systém slouží ke snížení tepelných ztrát větráním. Vzhledem k nárokům na těsnost nízkoenergetických staveb a obzvláště rekonstrukcí je větrání důležité zejména z hlediska vlhkosti a koncentrace CO₂, což vytváří podmínky pro vznik plísní a množení roztočů, což je zdravotně závadné pro obyvatele. Pokud se však do takto uzavřeného domu implementuje nucené větrání, tak jsou tyto neblahé důsledky eliminovány. Pro instalaci větracího systému s rekuperací jsou k dispozici 2 bývalé šachty, z čehož první v minulosti sloužila jako komín pro původní kotel instalovaný v chodbě a druhá pro přirozené větrání objektu. První šachta se nachází na pomezí obývacího pokoje, chodby, ložnice a kuchyně. Druhá šachta na pomezí chodby, dětského pokoje a koupelny. Lze tedy provést instalaci celého systému větrání s využitím původních vlastností, které je za potřeby pouze upravit. Toto opatření uvažuji ve všech variantách, bez investičních nákladů. Účinnost rekuperační jednotky je 90 % a intenzita výměny vzduchu 0,4 h⁻¹ pro Rodinný dům a 0,7 h⁻¹ pro restauraci[20]

4.2.5 Opatření č. 6 - Tepelná izolace

Vzhledem k současnému stavu podlahy v domě je důležité zmínit, že po dokončení menší rekonstrukce v roce 2008 byla koupelna s izolací EPS 100Z o tloušťce 10 cm a

podlahovým vytápěním se součinitelem prostupu tepla $0,261 \text{ W/m}^2\text{K}$ bude uvažována ponechat v původním stavu. Jako izolační materiál jsem zvolil polystyren EPS, který se vyznačuje lepšími tepelně izolačními vlastnostmi (výrobce udává o 20 % lepší) oproti klasickému „bílému“ polystyrenu, při stejných nákladech.



Graf 5 závislost U na tloušťce izolace

4.2.5.1 Obálka budovy

Dle normy ČSN 73 0540-2, která stanovuje hodnoty součinitele prostupu tepla se tepelné opatření bude uvažovat prostřednictvím izolace obvodových zdí. Izolační materiál je zde Isover EPS 70 F se součinitelem tepelné vodivosti o hodnotě $0,039 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, splňující požadavky programu Nová zelená úsporám. Výsledná skladba této konstrukce je uvedena v následující tabulce, tyto hodnoty jsou převzaty z programu *teplo*:

Materiál	Tloušťka [mm]	U [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$]
Omítka vápenná	3,0	0,870
Zdivo CP 1	450,0	0,800
Omítka vápenná	3,0	0,870
EPS 70 F	30,0	0,039
Omítka perlitová	1,5	0,100
Celkem	487,5	0,117

Tabulka 17 Skladba konstrukce obvodové stěny

Náklady na realizaci tohoto opatření jsou poté vyčísleny detailně:

Vrstvy izolací	Cena [Kč/m ²]
Fasádní polystyren EPS 70 300 mm	344,65
Lepící a stěrková hmota	85
Armovací tkanina VERTEX R 131	20
Talířová Hmoždinka	35
Polystyrenová zátka EPS 70 mm	15
Penetrace pod omítku	20
Silikonová omítka 1,5 mm	130
Systémové prvky+ lišty (přibližně)	60
Montážní práce	440
Lešení (montáž+pronájem)	145
Úklid a odvoz suti	30
Celkem za m ² vč. DPH 15 %	1324,65
Plocha zdí S [m ²]	226,84
Celkem za rodinný dům	300 483,61 Kč

Tabulka 18 Investiční výdaje na zateplení

4.2.5.2 Střecha a stropní konstrukce

Izolace stropu v případě uvedeného rodinného domu lze uskutečnit položením izolace na podlahu půdy. Jedná se o častější metodu, kdy se uvažovaný materiál pokládá na stropní konstrukci. Jako materiál zde uvažují použití minerální vaty Knauf 112. Předností tohoto řešení je možnost snadného odstranění a znovupoužití. Například když se majitel rozhodne vybudovat podkrovní vestavbu. [21]

Materiál	Tloušťka [mm]	U [W/m ² .K]
Omítka vápenná	8,5	0,87
Dřevo měkké	200	0,18
Hlína suchá	100	0,7
Beton hutný 1	100	1,23
Knauf TP 112	160	0,043
Celkem	568,5	0,191

Tabulka 19 Skladba konstrukce stropu

Vrstvy izolací	Cena [Kč/m ²]
Minerální vata	320,16
Montážní práce	250
Celkem za m ² vč. DPH 15 %	570,16
Celkem plocha [m ²]	108
Celkem [Kč]	61 577,28 Kč

Tabulka 20 Investiční výdaje na izolaci stropu

4.2.5.3 Podlaha

Vzhledem ke konceptu izolování podlah, které nekladou požadavky na náročné dotvarování a akustiku. Pro vnitřní konstrukci jsem navrhl řešení ke snížení součinitele prostupu tepla pomocí následujících vrstev odspodu:

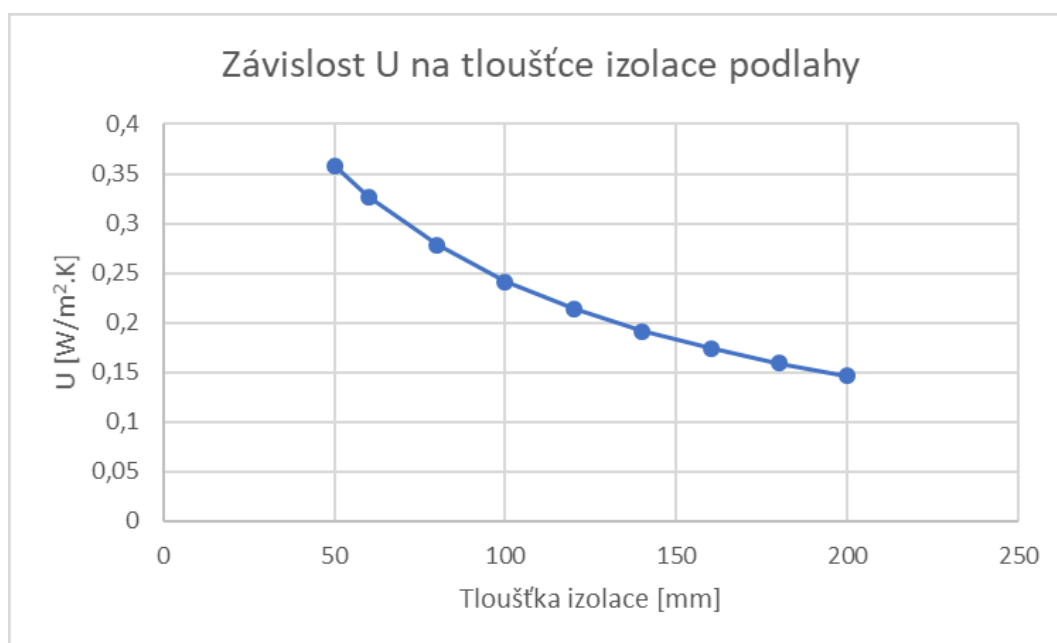
Materiál	Tloušťka [mm]	U [W/m ² .K]
Dlažba keramická	8,5	1,01
Isover EPS 100Z	200	0,037
Beton hutný	100	1,23
Břidlice	1500	1,7
Celkem	1808,5	0,153

Tabulka 21 Skladba konstrukce podlahy

Vrstvy izolací	Cena [Kč/m ²]	
Dlažba keramická	271,6415	
Anhydritová směs	208	
Isover EPS 100 Z 200 mm	308,66	
Beton Hutný 100 mm	200	
Montážní práce	440	
Úklid a odvoz suti	30	
Celkem za m ² vč. DPH 15 %	1458,3015	
Budova	Rodinný dům	Restaurace
Celkem plocha [m ²]	91,84	56
Cena [Kč]	133 930,41 Kč	83123,19 Kč
Celkem [Kč]	217 053,60 Kč	

Tabulka 22 Investiční výdaje na rekonstrukci podlahy

Pomocí programu *teplo* byl stanoven součinitel prostupu tepla na hodnotu 0,146 W/m²K, což je v rámci limitů dle normy TNI pro pasivní domy následující tabulka zobrazuje jednotlivé investiční náklady potřebné k realizaci rekonstrukce podlahy:



Graf 6 Závislost součinitele prostupu tepla podlahou na tloušťce izolace

4.2.6 Výměna oken a dveří

Pro jednotlivé objekty je nezbytné k dosažení výše stanovených cílů vyměnit veškerá okna a venkovní dveře vzhledem k jejich stáří a vlastnostem. Pro návrh na výměnu oken

v jednotlivých budovách je stěžejní ukazatel: součinitel prostupu tepla U [W/m^2K] definovaný výše. Pro dosažení jednotlivých standardů je za potřebí nejen prostá výměna, ale i správný postup při zabudování oken. Tento postup je podrobně definován v normě TNI 74 6077. díky tomu se předchází znehodnocením okna z hlediska tepelné izolace a ztrátám skrze tepelné mosty. [22]. Okna byla zvolena plastová s izolačním trojsklem Ideal 8000. Prodejce na svém webu uvádí součinitel prostupu tepla u oken $U_w = 1,0 W/m^2K$.

Cenové údaje plastových oken byly vyčísleny prostřednictvím online kalkulačky. K cenám oken je online k dispozici montáž dle ČSN včetně cen. Všechna okna jsou plastová s izolačním trojsklem. [23]

4.2.6.1 Dveře

Vzhledem ke stávajícímu stavu vchodových dveří je nezbytný požadavek na výměnu. K dosažení požadovaného standardu jsou kladeny vysoké nároky na tepelně izolační vlastnosti navrhovaných dveří. Nové dveře musí dokonale tepelně izolovat. Součástí zde musí být také správná montáž a usazení dveří do budovy, tudíž je zde nezbytná stavební úprava. Klíčový ukazatel je zde součinitel prostupu tepla U_D , který musí být co nejnižší. Prodejce uvádí hodnotu na $1,2 W/m^2K$.

Rodinný dům				Ceny nových oken a dveří				
	Výška	Šířka	Počet	Základ	Sklo	Montáž	bez DPH	vč. DPH 15 %
Okno Obvod	120	150	4	18692	4164	9504	32360	37 214,00 Kč
Okno K+K	65	65	2	3609	489	2288	6386	7 343,90 Kč
Okno Sklad	55	85	1	1920	270	1232	3422	3 935,30 Kč
Dveře	83	220	1	29639	0	6079	35718	41 075,70 Kč
Celkem								89 568,90 Kč
Restaurace				Ceny nových oken a dveří				
	Výška	Šířka	Počet	Základ	Sklo	Montáž	bez DPH	vč. DPH 15 %
Okno O	100	115	5	19779	3470	9680	32929	37 868,35 Kč
Okna WC	50	55	3	4789	477	2772	8038	9 243,70 Kč
Okno Dveře	210	174	1	5321	2113	3379	10813	12 434,95 Kč
Dveře	210	82	1	29639	0	5859	35498	40 822,70 Kč
Celkem								100 369,70 Kč
CELKEM	189 939 Kč							

Graf 7 Investiční výdaje oken a dveří

4.3 Shrnutí a změna energetické náročnosti budov

Dosažené hodnoty jednotlivých konstrukcí dle tabulky s normou.

	Dosažený stav		Požadované hodnoty	
	Rodinný Dům	Restaurace	Nízkoenergetický dům	Pasivní dům
Konstrukce	U [W/m ² K]	U [W/m ² K]	U [W/m ² K]	U [W/m ² K]
Obvodová stěna (vzduch)	0,117	0,3	0,3	0,08-0,15
Obvodová stěna (zemina)	0,153	0,153	0,45	≤ 0,15
Okno osazené	1,0	1,0	1,5	≤ 0,85
Strop do nevytápěného prostoru	0,191	0,205	0,24	0,1 – 0,15
Dveře vchodové	1,2	1,2	1,7	1,2

Graf 8 Porovnání dosažených hodnot s požadovanými

5 Sestavení funkčních variant řešení

5.1 Plán pro sestavení

V této kapitole se budu zabývat návrhem jednotlivých variant pro snížení energetické náročnosti výše popsaných budov. Hlavním cílem je zefektivnění hospodaření jak s energiemi, tak s financemi. Pomocí kombinace jednotlivých opatření, které jsou detailně popsány v kapitole 3. je potřebné dosáhnout co možná nejlepších energetických tříd, které jsou uvedeny v PENB. Ke každé variantě pak zvláště dodávám jednotlivé průkazy pro obě budovy. Ve všech navrhovaných variantách uvažuji aplikaci opatření izolace bez čehož nelze dosáhnout nižších energetických standardů. Dále pak počítám s Hybridním FV systémem což vede ke snížení spotřeby tzv. neobnovitelné primární energie u rodinného domu, kde tento systém uvažuji nainstalovat. K dosažení ekonomické efektivity lze využít státní podpory prostřednictvím programu Nová zelená úsporám. Dle příslušných předpisů a pomocí online výpočetního softwaru stanovuji výsledné možnosti využití těchto dotačních titulů.

5.1.1 Shrnutí dat pro sestavení jednotlivých variant

V případě realizace opatření – FV systém, má odběratel právo na změnu ceny za elektrickou energii od dodavatele – ČEZ elektřina pro Soláry. Tento ceník obsahuje jiné sazby za silovou elektřinu a měsíční poplatek za odběrné místo. Výkupní cena je v ceníku pouze v rámci poskytnutí slevy z provozu výroby elektřiny bez potřeby licence ERÚ stanovená rovnicí:

$$Sleva = [O_D * (K * P)]$$

Kde

O_D – objem elektřiny dodané zákazníkem do sítě, nepřekračující objem jeho spotřeby

K – 40 %

P – cena za dodávku silové elektřiny (neregulované)

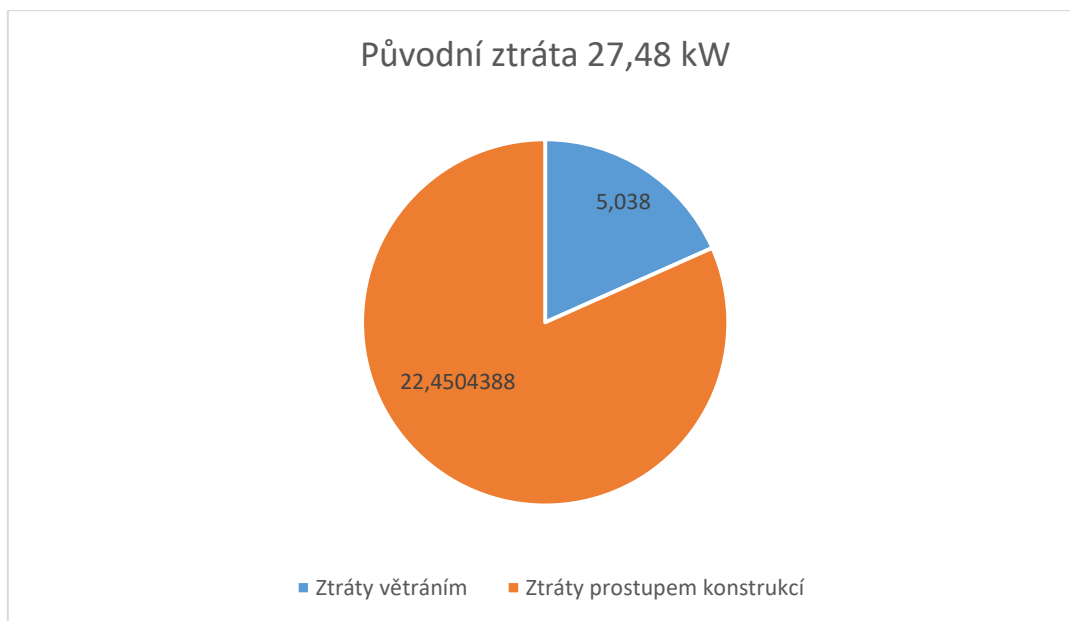
Pomocí softwaru PVGIS lze stanovit množství elektrické energie, které odběrné místo nedokáže spotřebovat okamžitě, nebo uchovat v bateriích. Toto číslo se pro jednotlivé varianty liší z důvodu různých spotřeb a odlišných tarifních struktur.[12]

5.2 Tepelná ztráta

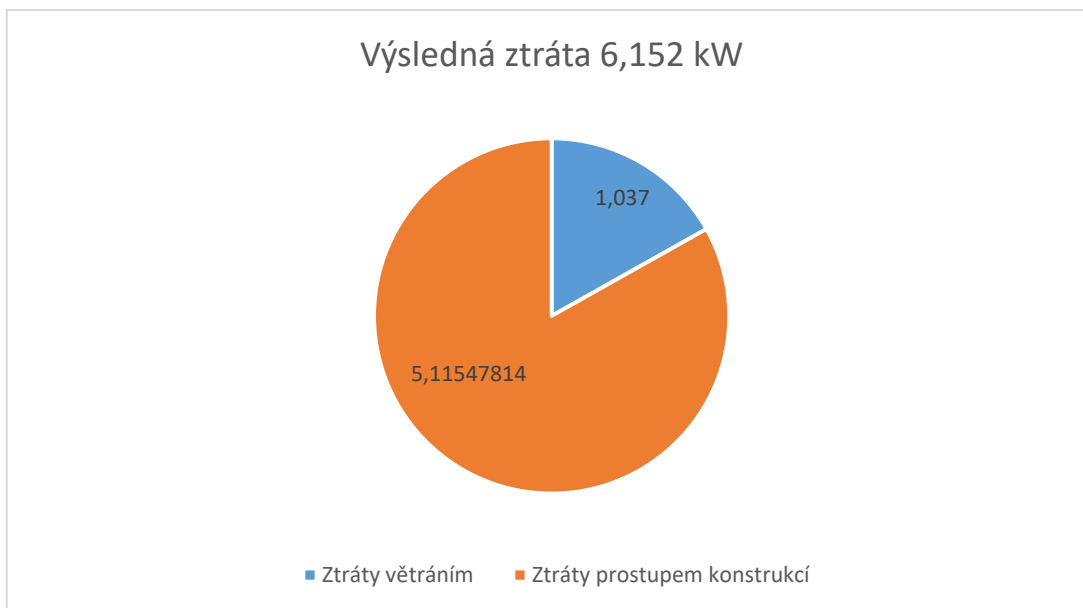
Stanovení tepelné ztráty po aplikaci opatření izolace a výměny oken vychází jakožto součet ztráty rodinného domu a ztráty restaurace. Výsledná ztráta byla tedy stanovena na RD v hodnotě 3,481 kW. Restaurace pak 1,634 kW. Ztráty větráním pro RD 618 W a pro

restauraci 419 W. Pro výpočet ztrát větráním jsem vycházel dle počtu osob v interiéru, koeficient přítomnosti 0,7 v RD a 0,6 v restauraci. Výslednou intenzitu větrání jsem stanovil na $0,4 \text{ h}^{-1}$ s obsazeností 3 osob pro RD a $0,7 \text{ h}^{-1}$ pro restauraci se stálou obsazeností 10 osob. Výsledná ztráta po zateplení činí 6,152 kW. Díky znalosti tohoto čísla lze dále dimenzovat vhodný tepelný zdroj.

Při přechodu na tepelné čerpadlo nebo elektrokotel má odběratel právo na změnu distribuční sazby z D25d na D57d, což bude mít za následek přiznání nízkého tarifu po dobu dvaceti hodin denně (splnění podmínky na vytápění a ohřev TUV). Pokud si bude chtít odběratel nechat zvýšit jistič na 3x32A bude si muset zažádat u distribuční společnosti o navýšení. Tento krok je zpoplatněn v hodnotě 500 Kč/A. Při přechodu na 3x32A je tedy navýšení o 7 A, a cena tedy vychází na 3500 Kč. Jistič byl zvolen od firmy SCHNEIDER ELECTRIC A9F04332 v ceně 434,2 Kč vč. DPH. Toto opatření se týká variant 1 a 3, kdy bude zdroj tepla závislý na elektrické energii.



Graf 9 Tepelná ztráta před zateplením



Graf 10 Tepelná ztráta po zateplení

5.3 Potřeba tepla pro vytápění objektů

Pokud budou ve všech variantách uvažována opatření izolace, FV systém, výměna oken a instalace větrací jednotky s rekuperací lze následně dopočítat celkovou energii pro potřeby vytápění obou objektů.

Pomocí softwaru *Energie* jsem vypočetl roční energii potřebnou pro vytápění rodinného domu a restaurace. Celková hodnota k ročnímu vytápění obou objektů činí 28,77 MWh/rok.

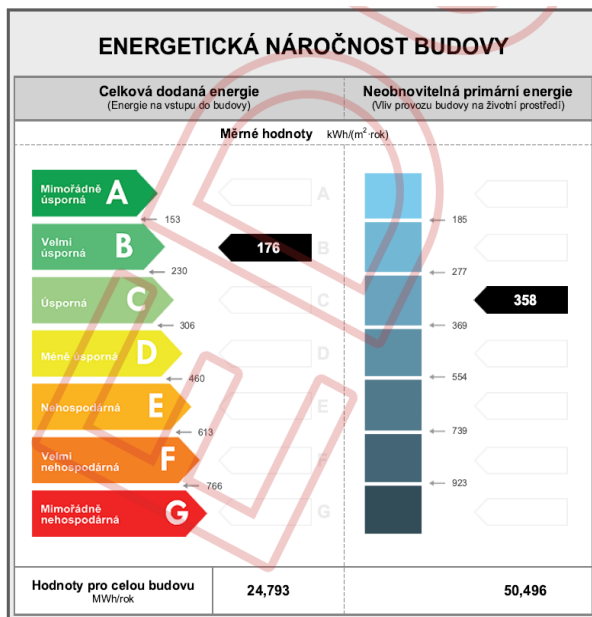
K dosažení požadovaných hodnot ohledně zateplení uvažuji s celkovou investicí v hodnotě 767 594,- Kč, z čehož 316 667,- Kč pokrývá dotace NZÚ. Výsledná investice tedy činí 450 927,- Kč na zateplení a instalaci nových oken.

Ohřev TUV v rodinném domě v otopném období uvažuji pomocí zdroje tepla pro vytápění. Spotřeba pro ohřev činí 2,64 MWh/rok. Pro restauraci ponechávám současný stav, ohřev elektrinou.

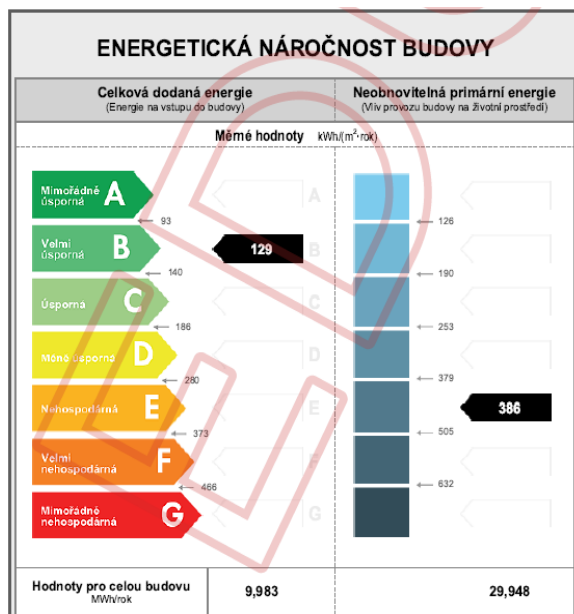
5.4 Varianta 1.

Tato varianta bude uvažována s následujícími opatřeními:

1. Opatření č. 6 – Tepelná izolace
2. Opatření č. 1 – FV systém s bateriemi
3. Opatření č. 3 – Elektrokotel



Obrázek 10 PENB RD VARI



Obrázek 111 PENB Rest VARI

Spotřeba energie při vytápění elektrokotlem činí celkem 32,650 MWh ročně, včetně odběru elektrické energie. Při vytápění elektrokotlem je výhodou přechod do sazby D57d

v kombinaci s FV systémem dále pak klesá spotřeba neobnovitelné primární energie. Při rozdělování spotřeby do VT a NT jsem vycházel z poměru 1:5, přičemž původní průměrnou spotřebu elektrické energie (11,5 MW/rok) jsem sečetl s vypočtenou spotřebou elektrokotle.

	Roční spotřeba před opatřeními [MWh]	Roční spotřeba po aplikaci opatření [MWh]	Roční úspora [MWh]
Teplo + TUV	73,15	11,32 + 2,64	61,828
Elektrina	11	11	
Celkem	84,15	24,96	

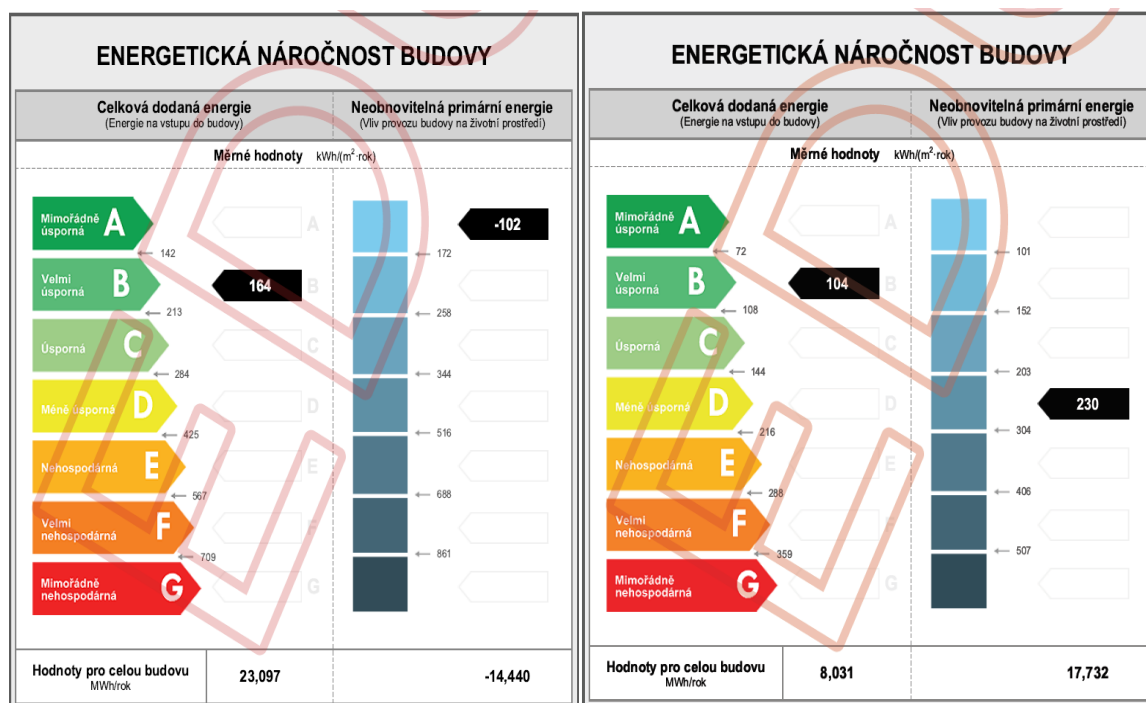
Tabulka 23 Porovnání spotřeb energií

5.5 Varianta 2.

1. Izolace
2. FV systém s bateriemi
3. Kotel na pelety

	Roční spotřeba před opatřením [MWh]	Roční spotřeba po aplikaci opatření [MWh]	Roční úspora [MWh]
Teplo	73,15	11,322 + 2,64	59,188
Elektrina	11	11	
Celkem	84,15	24,962	

Tabulka 24 Porovnání spotřeb energií



Obrázek 12PENB VAR2 Restaurace Obrázek 13PENB VAR2 Rodinný dům

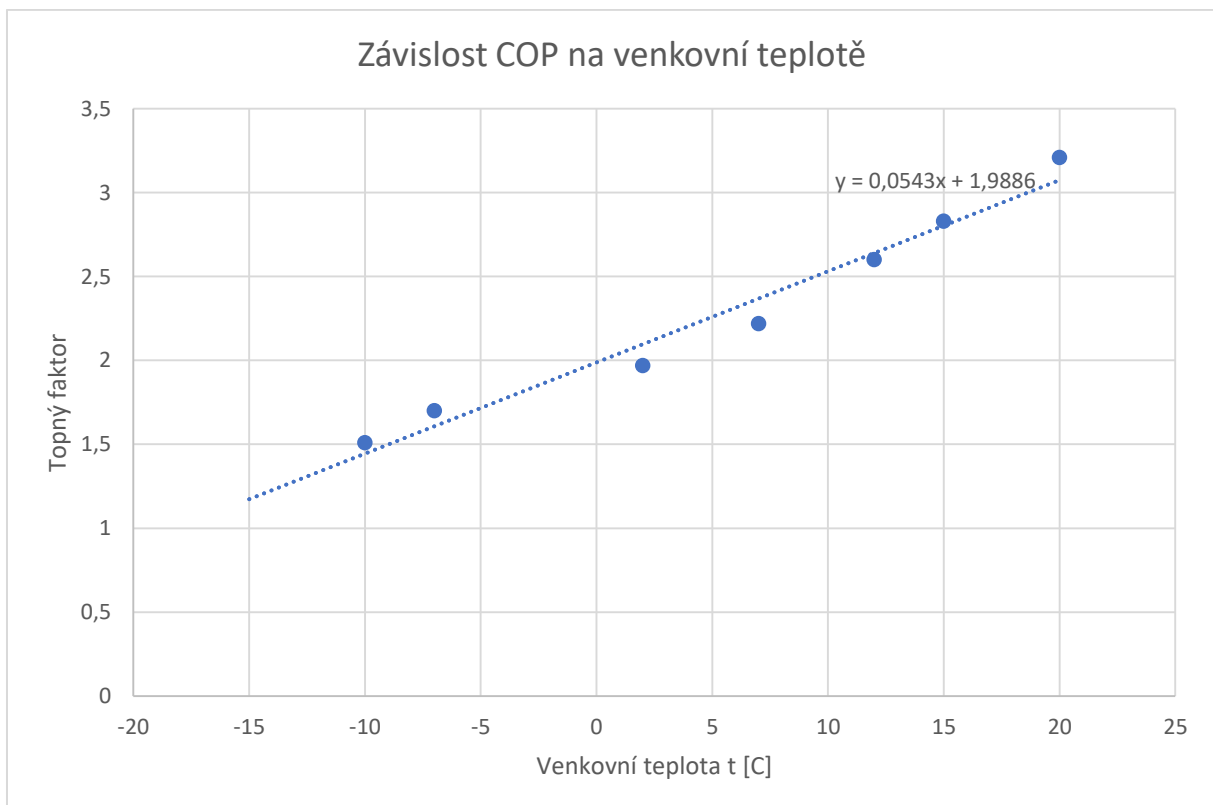
Aplikací tohoto opatření rodinný dům dosahuje záporných hodnot pro neobnovitelnou primární energii. Tato hodnota nastala díky dodávání energie prostřednictvím FV systému a díky faktu, že kotel na pelety produkuje minimální množství CO₂ a pracuje s vysokou účinností. Detailní popis všech ukazatelů je uveden v příloze 1. Toto opatření jako jediné zachovává původní tarifní sazbu D25d, tudíž na cenu ze elektrickou energií má dopad jen změna u dodavatele na výše zmíněnou sazbu „Elektrina pro soláry“.

5.6 Varianta 3.

1. Izolace
2. FV systém s bateriemi
3. Tepelné čerpadlo vzduch-voda

Situace u varianty 3 je poněkud složitější než u ostatních variant. Současné možnosti způsobů provozování tepelných čerpadel je hned několik (monovalentní, bivalentní).

Pro tuto variantu jsem zvolil bivalentní způsob s přídavným elektrickým zdrojem, který dokáže pokrýt nedostatečnou výrobu tepelného čerpadla při nízkých teplotách. Díky tomuto způsobu se lze vyvarovat nesprávnému navržení výkonu TČ. V kapitole 3.3.1 je popsán princip TČ kde jako pomocný zdroj slouží kompresor, který je náchylný na časté spínání. Proto je nejdůležitější při návrhu postupovat tak, aby se zachovala co možná nejdélní životnost této komponenty. Tento fakt zohledňuje i podmínka ze strany distributora v případě D57d je v podmínkách jasně stanovená výjimka pro tepelná čerpadla, která jakožto zdroje TUV smějí fungovat i v rámci vysokého tarifu. [17]



Graf 11 Závislost topného faktoru na venkovní teplotě

Pomocí dat z katalogu jsem sestavil závislost topného faktoru na venkovní teplotě. Pomocí spojnice trendu v programu Excel jsem dále stanovil přibližný regresní model pro teplotu topné vody na 50 °C.

$$\varepsilon = 0,0543t + 1,9886 + u$$

Pomocí programu *Energie* jsem spočítal měsíční spotřebu energie na vytápění. Což jsem dále využil při znalosti topného faktoru TČ. Tento faktor byl přepočítán pomocí normy EN ISO 13788, která určuje průměrnou venkovní teplotu v měsících:

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
t_e	-2,5	-1	2,6	7,1	12,1	15,4	17	16,5	12,9	8	2,8	-0,8
Topný faktor	1,85	1,93	2,13	2,37	2,65	2,83	2,91	2,88	2,69	2,42	2,14	1,95

Tabulka 25 Topný faktor v jednotlivých měsících

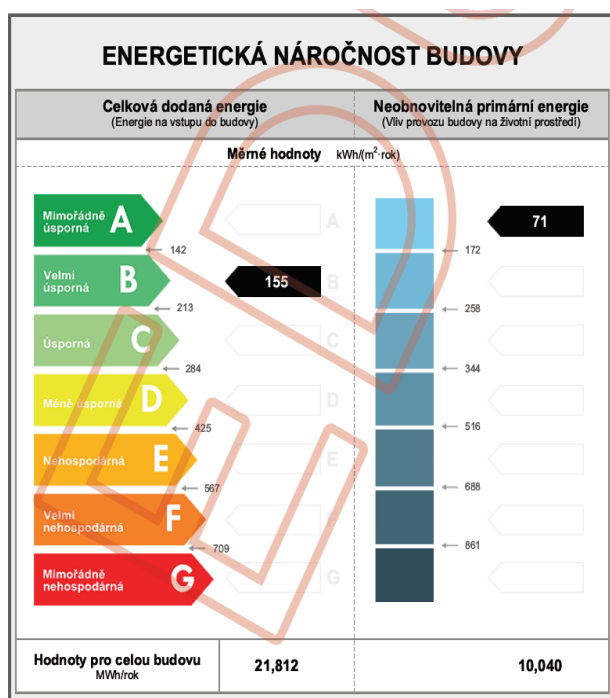
Díky znalosti jednotlivých spotřeb energií na vytápění lze poté určit spotřebu elektrické energie vydělením topným faktorem. Z protokolu o výpočtu z programu *Energie* jsem vynesl potřebu tepla pro jednotlivé měsíce v roce.

Potřeba tepla na vytápění po měsících:						
	RD		Restaurace			
Měsíc	Q,f,H[GJ]	Q,f,H [MWh]	Q,f,H[GJ]	Q,f,H [MWh]	ε [-]	Spotřeba [MWh]
1	9,772	2,714	4,021	1,117	1,853	2,068
2	8,309	2,308	3,442	0,956	1,935	1,687
3	7,354	2,043	3,078	0,855	2,130	1,360
4	5,034	1,398	2,16	0,600	2,374	0,842
5	2,869	0,797	1,248	0,347	2,646	0,432
6	1,639	0,455	0,717	0,199	2,825	0,232
7	0,987	0,274	0,42	0,117	2,912	0,134
8	1,019	0,283	0,434	0,121	2,885	0,140
9	2,784	0,773	1,159	0,322	2,689	0,407
10	5,264	1,462	2,177	0,605	2,423	0,853
11	7,468	2,074	3,055	0,849	2,141	1,365
12	8,952	2,487	3,665	1,018	1,945	1,802
Celkem [MWh]		17,070		7,104		11,322

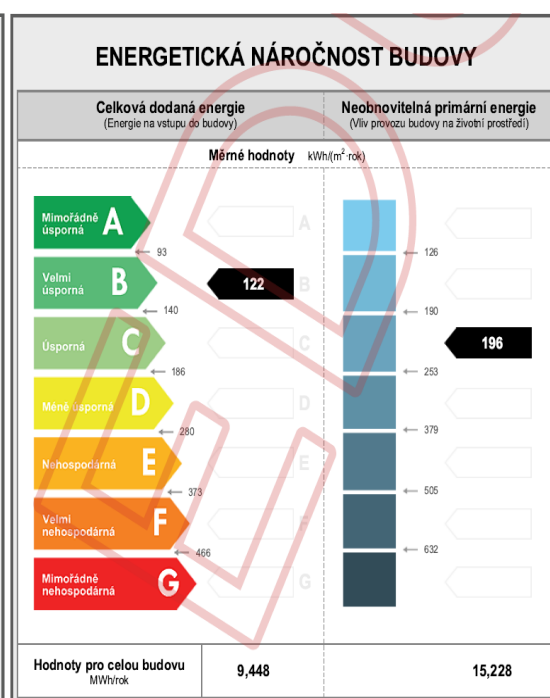
Tabulka 26 Měsíční spotřeba TČ

Výsledná spotřeba EE pro vytápění činí 13 185 Kč/rok. Při počítání ekonomických ukazatelů uvažuji po pěti letech servis v hodnotě 5 000 Kč, v desátém roce větší servis za 20 000 Kč. Pro FV systém uvažuji 2000 Kč ročně. Veškeré tyto výdaje zohledňuji roční inflací 2 %. Investice do FV systému dále uvažuji v 13. roce do baterií a výměny měniče.

Ke spotřebě elektrické energie na vytápění zde nesmí být opomenuta spotřeba elektrické energie, která v tarifní struktuře D25d činila 6 MWh ve VT a 5 MWh v NT. Vzhledem ke změně tarifní sazby na D57d nastává doba trvání nízkého tarifu po dobu 20 hodin denně. Rozložení spotřeby tedy uvažuji jako součet všech spotřeb a následné rozdělení v poměru 1:5 (VT:NT). Po odečtení výroby FVE vychází celková roční spotřeba na 16,872 MWh ročně. Průměrná cena za MWh činí 2595 Kč vč. DPH. Následně jsem sestavil PENB pro obě budovy. Potřebu energie pro ohřev TUV jsem v případě TČ vydělil průměrným ročním topným faktorem, a následně jsem spotřebu přičítal k celkové.



Obrázek 14 PENB RD VAR3



Obrázek 15 PENB Rest VAR3

Díky opatření v podobě hybridního FV systému, který bude aplikován na rodinném domě se snížila spotřeba neobnovitelné primární energie a emise CO₂

	Roční spotřeba před opatřením [MWh]	Roční spotřeba po aplikaci opatření [MWh]	Roční úspora [MWh]
Teplo + TUV	73,15	11,322 + 1,1	60,728
Elektřina	11	11	
Celkem	84,15	23,422	

Čistě z ekonomického pohledu ještě k této variantě přidávám možnost instalace TČ bez FV systému. Tarifní sazba D57d zůstává zachována, ale změní se cena za silovou elektřinu (elektřina na dobu neurčitou).

6 Ekonomické hodnocení

Pro možnost ekonomického porovnání všech variant jsem použil následující kritéria ekonomické efektivity.

Hotovostní toky CF

Hotovostní toky se určí jako výše ročních nákladů na vytápění a elektrickou energii. V roce $t=0$ uvažuji součet všech investic. CF pro jednotlivé varianty jsou vždy přirovnány k současnému stavu. Růst cen zohledňuji stejný. Ve variabilní složce nákladů se tedy jedná o rozdílovou CF.

Čistá současná hodnota NPV (Net present value)

Jedná se o součet všech diskontovaných hotovostních toků. Jde o v současnosti nepoužívanější a zároveň nevhodnější ekonomický ukazatel. Zahrnuje životnost projektu včetně počáteční investice. Pro tuto práci bude preferována varianta s lepším NPV. U kritéria NPV je důležitá shodná doba porovnání u všech projektů.

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

Je zde nutná diskuze ohledně výše investic do jednotlivých opatření. Pro dosažení požadovaných hodnot je investor nucen vynaložit investiční výdaje, naopak při zachování stávajícího stavu platí jen výdaje provozní. Pokud bude majitel uvažovat montáž nových oken včetně investice, bude mít tento krok za následek „uzavření“ budovy. Ke kompenzaci tohoto problému je pak nutné aplikovat větrací systém, který bude udržovat požadované hygienické podmínky.

6.1.1 Stanovení diskontu

Jedná se o konzervativního investora s averzí k riziku, tudíž jako klíčová informace pro stanovení diskontu je použita sazba banky na termínovaném účtu banky CREDITAS na 5 let s hodnotou 2,3 % z čehož se následně odečítá 15 % jako srážková daň. Výsledný diskont stanovují na 2 %.

6.1.2 Eskalace cen

Vyhláška č. 480/2016 o energetickém auditu a energetickém posudku doporučuje růst cen elektrické energie o 3 % ročně. Vzhledem k současným energetickým trendům v oblasti OZE tuto hodnotu ponechávám jako výchozí. Každý následující rok lze tedy ceny za energie navyšují o 3 % oproti roku předchozímu.

6.1.3 Inflace

Dlouhodobá inflační politika ČNB si klade za cíl udržet inflaci při hodnotě 2 % ročně. Inflace se projeví při případných reinvestičních nákladech a opravách jednotlivých zařízení včetně růstu cen za lidskou práci.

6.1.4 Citlivostní analýza

Pomocí CA se zjišťuje vzájemný vliv výstupu na vstupu. Tyto dvě veličiny jsou na sobě závislé a díky tomuto ukazateli lze zjistit „citlivost“ výše zmíněných veličin. Grafický výstup zřetelně ilustruje změny v jednotlivých variantách.

6.2 Ekonomické vyhodnocení

Pro ekonomické vyhodnocení následujících variant jsem použil následující vstupní předpoklady:

- Uvažuji stabilní prostředí s konstantní mírou inflace 2 %
- Výše nominálního diskontu jsem stanovil na 2 % ročně dle bezrizikové investice
- Ve všech variantách uvažuji meziroční růst cen za energie 3 %
- Poměr složkových odběrů VT a NT uvažuji v případě variant 1,3 a 4 v poměru 1:5 kvůli době nízkého tarifu 20 hodin denně. V případě varianty 2 ponechávám stejné rozdělení jako dosud.
- Cena za údržbu jednotlivých komponent u FV systému uvažuji v prvním roce 2 000 Kč
- Životnost FV panelů a zdrojů tepla uvažuji na 20 let, baterie a měnič uvažuji na 13 let, poté reinvestice k nahrazení těchto komponent
- Servis tepelného čerpadla je každých 5 let v hodnotě 5 000 Kč, v 10. roce pak uvažuji 20 000 Kč za komplexnější servis
- Inflace je počítána od 2. roku celkové doby porovnání

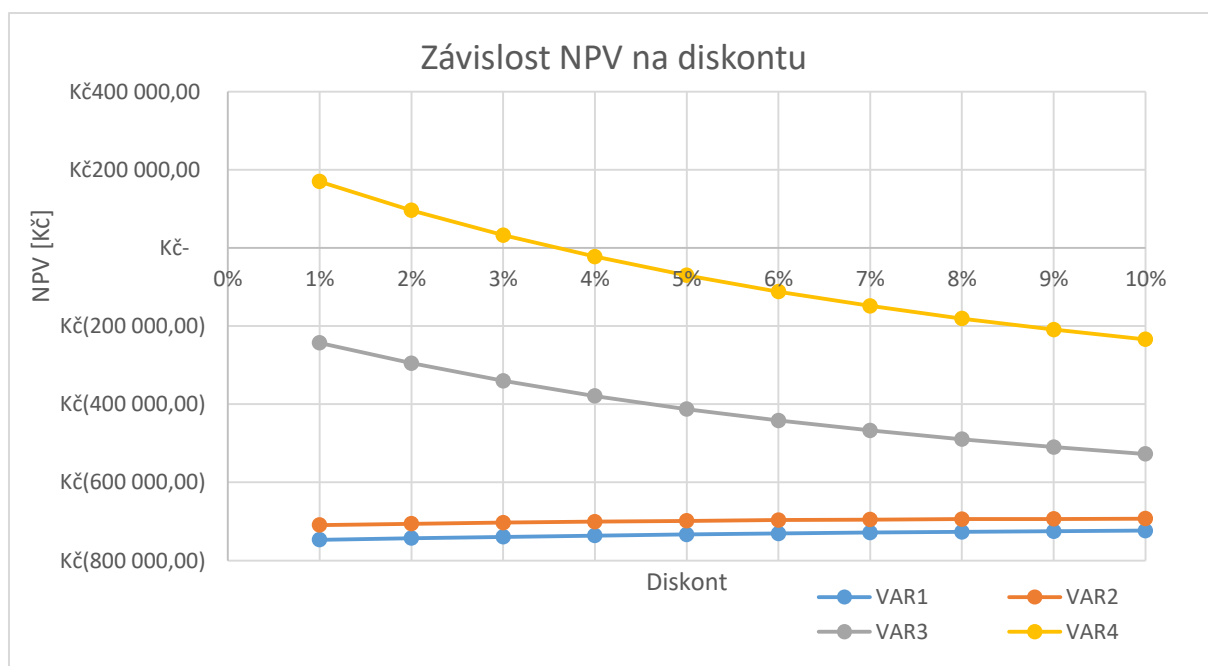
Opatření	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 3 bez FV
Zateplení obv. Stěn	300,48	300,48	300,48	300,48
Zateplení stropu	61,58	61,58	61,58	61,58
Zateplení podlahy	217,05	217,05	217,05	217,05
Výměna oken a dveří	189,39	189,39	189,39	189,39
Zdroj tepla	57,26	120,63	218,02	218,02
FV systém	401,64	401,64	401,64	401,64
Dotace na tepelný zdroj	-	56,07	124,47	124,47
Dotace na izolaci	316,67	316,67	316,67	316,67
Dotace na FVE	150,00	150,00	150,00	-
Celková investice	-759,82	-767,13	-796,12	-544,93
NPV	-742,98	-734,48	-295,31	96,04
Úspora v 1. roce	13,71	22,63	35,50	30,99

Obrázek 16 Ekonomické shrnutí variant

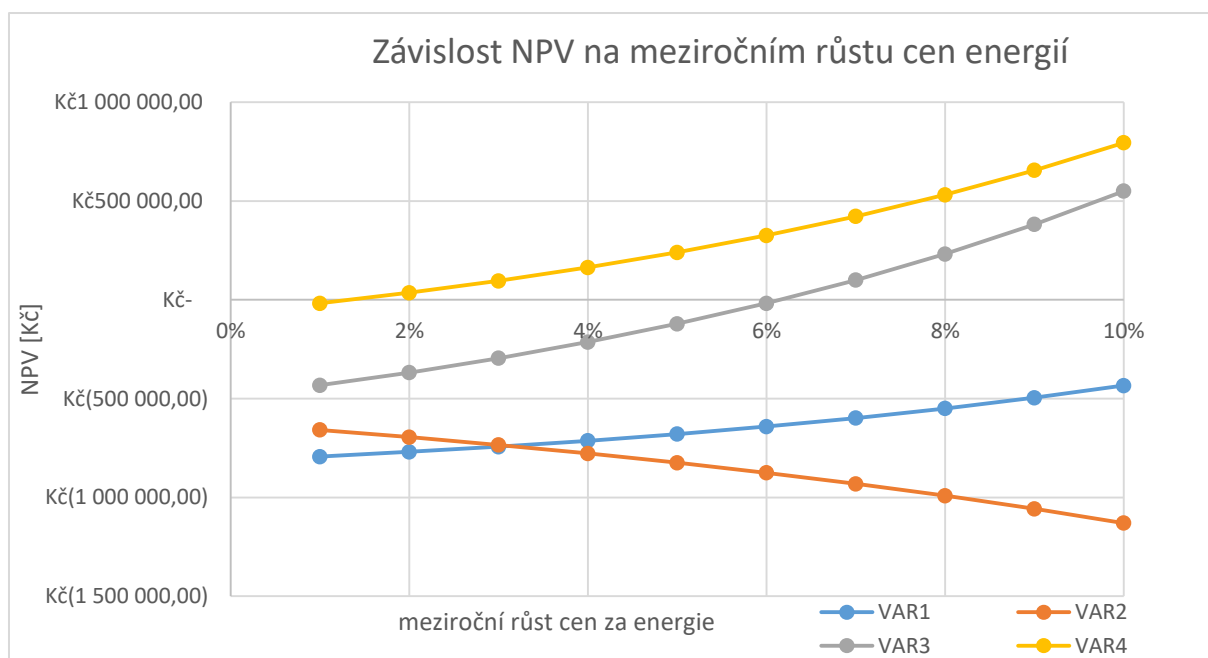
Výsledná tabulka reprezentuje ekonomické zhodnocení jednotlivých variant. V případě 3. varianty jsem vynechal FV systém a NPV zde vyšlo jako jediné kladně. Na základě této tabulky by se dala doporučit tedy varianta tepelné čerpadlo vzduch-voda bez FV systému. Nicméně následuje podrobení jednotlivých NPV citlivostní analýze.

6.3 Citlivostní analýza

V této části budu zkoumat závislost NPV jednotlivých variant na změně diskontu a meziročním růstu cen energií.



Graf 12 CA závislosti NPV na diskontu



Graf 13 CA závislosti NPV na růstu cen energií

Z analýzy meziročního zvyšování cen za energie je zřejmé, že NPV u variant 1,3 a 4 roste, u varianty 2 naopak klesá a přibližně ve 3 % již není výhodnější oproti variantě 1. Dále lze z grafu předpokládat, že při vysokém nárůstu cen překoná varianta 3 variantu 4. nicméně tato skutečnost se mi jeví spíše nepravděpodobná. Na základě CA tedy doporučuji variantu číslo 4 jakožto optimální pro investora.

7 Závěr

V této diplomové práci bylo cílem navrhnout rekonstrukci stávající stavby do pasivního, případně nízkoenergetického standardu.

V první části jsem analyzoval základní ukazatele pro hodnocení energetické náročnosti budov. Dále jsem analyzoval současnou spotřebu energií na vytápění, ohřev TUV a spotřebu elektrické energie.

V následující kapitole jsou popsány jednotlivé normy a legislativní předpisy potřebné k hodnocení energetické náročnosti budov. Dále jsem pomocí programů *Tepla* a *Energie* mohl určovat jednotlivé skladby konstrukcí pro dosažení pozitivnějších energetických tříd.

Díky znalosti stávajícího stavu jsem v kapitole 3 navrhoval jednotlivá úsporná opatření pro dosažení požadovaných hodnot. Jako primární opatření jsem navrhoval zateplení a výměnu oken, díky čemuž jsem dosáhl příznivějších podmínek pro návrh vhodného zdroje tepla a ohřevu TUV. Kvůli místním podmínkám bylo nutné vyloučit některé možnosti a ze zbývajících jsem následně sestavil funkční varianty. V jednotlivých variantách jsem dále obměňoval jednotlivé zdroje pro vytápění a ohřev TUV.

Výsledkem byly základní tři varianty, přičemž čtvrtá se od třetí lišila pouze vynecháním FV systému. Tato varianta se po podrobení citlivostní analýze projevila, jakožto nejefektivnější především z hlediska ekonomického. Oproti ostatním možnostem zde vyšlo NPV v horizontu dvaceti let v kladných číslech. U rekonstrukcí je ovšem pouze jeden ukazatel oproti stávajícímu stavu, a to současná spotřeba. Je důležité si uvědomit, že po aplikaci jednotlivých variant dostává investor zcela jinou budovu se značně pozitivnějším komfortem, a také s jinou hodnotou nemovitosti. Z hlediska ekonomického jsem tedy povinen doporučit upravenou variantu 4: Zateplení, výměna oken spolu s tepelným čerpadlem vzduch-voda. Navrhované varianty umožnily dosažení tříd B – velmi úsporná u obou budov.

V závěru lze tedy konstatovat, že investice do rekonstrukcí mají význam i z hlediska ekonomického ve smyslu zajištění se proti neočekávaným tržním výkyvům.

8 Seznam použité literatury

- [1] „Tepelný odpor - výpočty“, 2018. [Online]. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/technicke-informace/vypocet-prostupu-tepla/>.
- [2] P. Ministerstva, „Vyhláška č. 78/2015 sb.“, 2013. [Online]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/docu/predpisy/download/V78-2013.pdf>.
- [3] ČSN 38 3350 o zásobování teplem, všeobecné zásady. Praha: Vydavatelství norem, 1989.
- [4] Cs. prof. Ing. Jan Tywoniak, doc. Dr. Ing. Zbyněk Svoboda, a Ing. Kateřina Sojková, „Nové znění ČSN 73 0540-2“, 2011. [Online]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/7899-nove-zneni-csn-73-0540-2>.
- [5] J. T. Jiří Beranovský, Lenka Hudcová, Monika Kašparová, František Macholda, Karel Srdečný, „ZÁSADY VÝSTAVBY NÍZKOENERGETICKÝCH DOMŮ“, 2007. [Online]. Dostupné z: <https://ekowatt.cz/cz/informace/uspory-energie/zasady-vystavby-nizkoenergetickych-domu?fbclid=IwAR3aiezrvqrQQUgxE2y5rbjMpTetDiWmgRDZkJ6Htkm7wYKdWk6fkzHx1-4>.
- [6] P. Ministerstva, „Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory z podprogramu Nová zelená úsporám RODINNÉ DOMY“, 2018.
- [7] J. Pokorný a J. Beranovský, *Je úsporný dům opravdu úsporný ?* .
- [8] „Solar-eshop.cz“. [Online]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/p/fv-panel-gcl-270wp/>.
- [9] „Ostrovní elektrárny“, 2018. [Online]. Dostupné z: http://www.ostrovni-elektrarny.cz/index.php?category=menice-dc-ac-hybridni&detail=NTUwMDYw&detail_name=hybridni-menic-infinisolar-v-ii-9kw-3f.
- [10] European Commission, „PVGIS“. 2019.
- [11] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD, „Energetický regulační V Ě S T N Í K“, s. 1–40, 2018.
- [12] ČEZ, „Distribuční území ČEZ Distribuce, a. s.“, Praha, 2018.
- [13] „Jak pracuje tepelné čerpadlo“, 2019. [Online]. Dostupné z: <http://www.ciat.cz/jak->

funguje-tepelne-cerpadlo.

- [14] P. D. doc. Ing. Tomáš Matuška, „Parametry pro hodnocení efektivity tepelných čerpadel: COP a SCOP“, 2015. [Online]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13196-parametry-pro-hodnoceni-efektivita-tepelnych-cerpadel-cop-a-scop>.
- [15] P. D. Ing. Robert Krainer, „Postup při návrhu tepelných čerpadel“, 2015. [Online]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12401-postup-pri-navrhu-tepelnych-cerpadel>.
- [16] KLIMATEST, „Topný faktor a bod bivalence tepelného čerpadla“, 2019. [Online]. Dostupné z: <https://www.klimatest.cz/topnyfaktor.html>.
- [17] DeDietrich, „Projekční podklady 2018“, 2018.
- [18] Centrum-vytápění.cz, „Protherm Ray 24 kW- Elektrokotel“. [Online]. Dostupné z: <https://www.centrumvytapani.cz/protherm-ray-24-kw-elektrokotel/>.
- [19] „Nový kompaktní automatický kotel na pelety D10PX“, 2019. [Online]. Dostupné z: <https://www.atmos.eu/novinky/novy-kompaktni-automaticky-kotel-na-pelety-d10px/>.
- [20] M. Lom, „Model řízení vzduchotechnické jednotky“, 2013. [Online]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/regulace-vetrani-klimatizace/9796-model-rizeni-vzduchotechnicke-jednotky>.
- [21] R. Studený, „Zateplení fasády cena za m²“, 2018. [Online]. Dostupné z: <https://www.zatepleni-fasad.eu/vse-o-zatepleni/zatepleni-fasady-cena-za-m2/>.
- [22] „Okna a dveře“, 2019. [Online]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/okna-dvere>.
- [23] „OKNA eshop.cz“, 2019. [Online]. Dostupné z: <http://www.okna-eshop.cz/#>.

9 Seznam obrázků

Obrázek 1 Letecký pohled na budovy	12
Obrázek 2 Kotel na tuhá paliva	16
Obrázek 3 PENB RD Obrázek 4 PENB Restaurace.....	18
Obrázek 5 Škála třídění budov	21
Obrázek 6 Schéma hybridního FV systému	24
Obrázek 7 Schéma COP TČ	30
Obrázek 8 Elektrokotel	31
Obrázek 9 Kotel na pelety	32
Obrázek 10 PENB RD VAR1	43
Obrázek 11 PENB Rest VAR1.....	43
Obrázek 12 PENB VAR2 Restaurace Obrázek 13 PENB VAR2 Rodinný dům	45
Obrázek 14 PENB RD VAR3 Obrázek 15 PENB Rest VAR3	48
Obrázek 16 Ekonomické shrnutí variant	51

10 Seznam Tabulek

Tabulka 1 Rozměry budov	Chyba! Záložka není definována.
Tabulka 2 Faktura za elektřinu 2015.....	13
Tabulka 3 Faktura za elektřinu 2016.....	14
Tabulka 4 Faktura za elektřinu 2015.....	14
Tabulka 5 Soupis spotřebičů a spotřeb.....	15
Tabulka 6 Štítkové údaje kotle na tuhá paliva	16
Tabulka 7 Faktury za uhlí 2017.....	16
Tabulka 8 Faktury za uhlí 2016.....	17
Tabulka 9 Faktury za uhlí 2015.....	17
Tabulka 10 Požadované hodnoty U	17
Tabulka 11 Průměrné venkovní teploty měsíčně	20
Tabulka 12 Požadavky pasivního domu.....	21
Tabulka 13 Investiční výdaje FV systému.....	26
Tabulka 14 Porovnání cen pro tarifní struktury	28
Tabulka 15 Investiční výdaje TČ	31
Tabulka 16 Investiční výdaje Elektrokotel.....	32
Tabulka 17 Investiční náklady kotle na pelety.....	33

Tabulka 18 Skladba konstrukce obvodové stěny	34
Tabulka 19 Investiční výdaje na zateplení	35
Tabulka 20 Skladba konstrukce stropu	35
Tabulka 21 Investiční výdaje na izolaci stropu	36
Tabulka 22 Skladba konstrukce podlahy	36
Tabulka 23 Investiční výdaje na rekonstrukci podlahy.....	37
Tabulka 24 Porovnání spotřeb energií	44
Tabulka 25 Porovnání spotřeb energií	45
Tabulka 26 Topný faktor v jednotlivých měsících.....	47
Tabulka 27 Měsíční spotřeba TČ	47

11 Seznam Grafů

Graf 1 TDD 2017	23
Graf 2 TDD ročního maxima	23
Graf 3 TDD ročního minima	24
Graf 4 Bilance výroby a spotřeby EE.....	27
Graf 5 závislost U na tloušťce izolace.....	34
Graf 6 Závislost součinitele prostupu tepla podlahou na tloušťce izolace.....	37
Graf 7 Investiční výdaje oken a dveří	38
Graf 8 Porovnání dosažených hodnot s požadovanými	39
Graf 9 Tepelná ztráta před zateplením	41
Graf 10 Tepelná ztráta po zateplení	42
Graf 11 Závislost topného faktoru na venkovní teplotě.....	46
Graf 12 CA závislosti NPV na diskontu	52
Graf 13 CA závislosti NPV na růstu cen energií	53

12 Přílohy

12.1 Příloha 1

12.1.1 Varianta 1

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY							
	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
	U_{em} W/(m ² ·K)	Dílčí dodané energie		Měrné hodnoty		kWh/(m ² ·rok)	
Mimořádně úsporná							
A				1			
B	0,18	145					
C						19	11
D							
E							
F							
G							
Mimořádně neúsporná							
Hodnoty pro celou budovu		20,43		0,12		2,64	1,60
MWh/rok							

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY							
	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
	U_{em} W/(m ² ·K)	Dílčí dodané energie		Měrné hodnoty		kWh/(m ² ·rok)	
Mimořádně úsporná							
A	0,16			1			5
B		107				15	
C							
D							
E							
F							
G							
Mimořádně neúsporná							
Hodnoty pro celou budovu		8,34		0,04		1,19	0,41
MWh/rok							

12.1.2 Varianta 2

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY							
	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
	U_{em} W/(m ² ·K)	Dílní dodané energie			Měrné hodnoty	kWh/(m ² ·rok)	
Mimořádně úsporná							
A				1			
B	0,18	133					
C						19	11
D							
E							
F							
G							
Mimořádně neúsporná							
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok		18,73		0,12		2,64	1,60

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY							
	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
	U_{em} W/(m ² ·K)	Dílní dodané energie			Měrné hodnoty	kWh/(m ² ·rok)	
Mimořádně úsporná							
A	0,16			1			
B		50					11
C						43	
D							
E							
F							
G							
Mimořádně neúsporná							
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok		3,86		0,04		3,30	0,83

12.1.3 Varianta 3

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY							
	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
	U_{em} W/(m ² ·K)	Dílčí dodané energie			Měrné hodnoty	kWh/(m ² ·rok)	
Mimořádně úsporná							
A				1			
B	0,18	124					
C						19	11
D							
E							
F							
G							
Mimořádně neúsporná							
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok		17,45		0,12		2,64	1,60

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY							
	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
	U_{em} W/(m ² ·K)	Dílčí dodané energie			Měrné hodnoty	kWh/(m ² ·rok)	
Mimořádně úsporná							
A	0,16			1			5
B		101				15	
C							
D							
E							
F							
G							
Mimořádně neúsporná							
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok		7,80		0,04		1,19	0,41