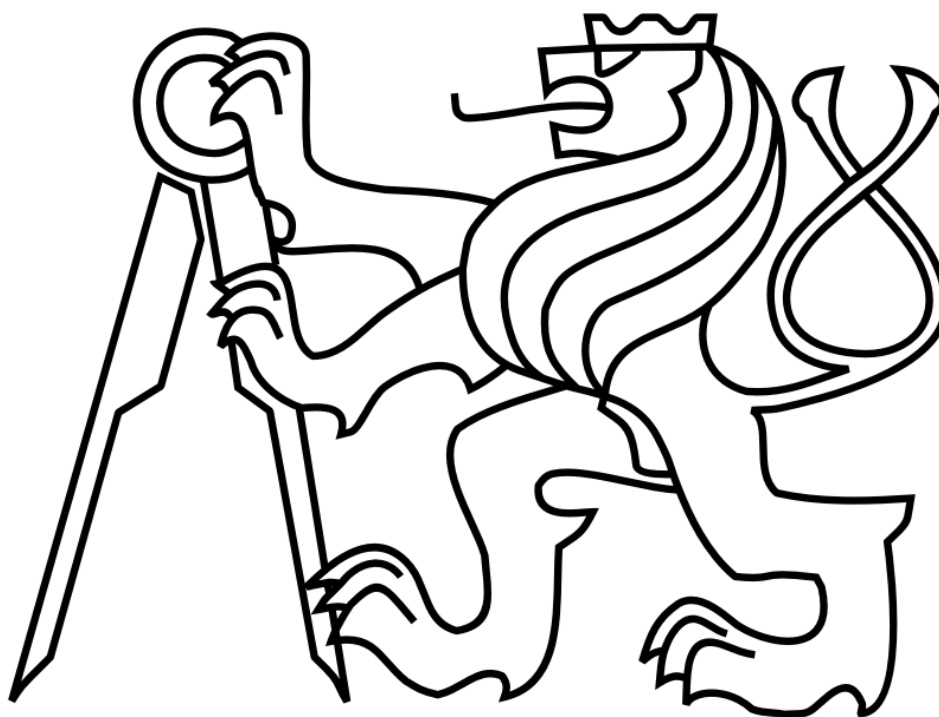


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA EKONOMIKY, MANAŽERSTVÍ A HUMANITNÍCH VĚD



TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ SPOTŘEBY ENERGIE V RD
TECHNICAL AND ECONOMIC EVALUATION OF ENERGY CONSUMPTION IN
FAMILY HOUSE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

STUDIJNÍ PROGRAM: ELEKTROTECHNIKA, ENERGETIKA A MANAGEMENT

STUDIJNÍ OBOR: EKONOMIKA A ŘÍZENÍ ENERGETIKY

VEDOUCÍ PRÁCE: DOC. ING. JAROMÍR VASTL, CSC.

DANIEL GRECMAN

PRAHA 2017

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Grečan Jméno: Daniel Osobní číslo: 406184
Fakulta/ústav: Fakulta elektrotechnická
Zadávací 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:

Technicko-ekonomické zhodnocení spotřeby energie v RD

Název diplomové práce anglicky:

Technical and economic evaluation of energy consumption in family house

Pokyny pro vypracování:

- systémy pro zásobování RD energií
- určení tepelných ztrát a výpočet energetické náročnosti RD
- návrh variant řešení RD z hlediska možnosti žádosti o dotace
- ekonomické vyhodnocení variant RD

Seznam doporučené literatury:

Murtinger K.: Úspěšný rodinný dům, Grada Publishing 2013
Kislingerová E., a kol.: Manažerské finance, C.H.Beck 2007

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Jaromír Vastl CSc., katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL

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

Datum zadání diplomové práce: 31.01.2017 Termín odevzdání diplomové práce: 26.05.2017

Platnost zadání diplomové práce: 25.05.2018

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

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

V Praze dne 6. 5. 2017

.....

Daniel Grecman

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucímu této práce, Doc. Ing. Jaromíru Vastlovi, CSc., za jeho odborné rady, ochotu, trpělivost a cenné připomínky, které mi věnoval při zpracování diplomové práce.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá technicko-ekonomickým zhodnocením spotřeby energie v rodinném domě. Je rozdělena na dvě hlavní části. V teoretické části práce jsou popsány faktory ovlivňující spotřebu energie a legislativa týkající se energetické náročnosti budov. V praktické části práce je zhodnocen projekt RD v Ostravě z technicko-ekonomického hlediska a jsou k němu navrženy varianty vedoucí ke snížení potřeby energie.

Klíčová slova

Technicko-ekonomické hodnocení, energetické projekty, FVE, rekuperace, zateplování, energetický management, úspory

Abstract

This diploma thesis deals with technical and economic evaluation of energy consumption in family house. The work is divided into two main parts. The theoretical part describes the factors that have affect on energy consumption and legislation devoted to this problematics. The practical part of this work evaluates family house in Ostrava both from technical and economical part and propose solutions to lower his energy consumption.

Keywords

Technical and economic evaluation, energy project, photovoltaics, recuperation, thermal insulation of family house, energy management, savings

Obsah

Obsah	1
1. Úvod	3
2. Systémy pro zásobování RD energií	4
2.1. Legislativa.....	4
2.2. Zásobování RD elektřinou	5
2.3. Zásobování RD teplem	8
2.3.1. Zateplování.....	8
2.3.2. Výběr oken	9
2.3.3. Architektonický tvar domu	10
2.3.4. Nucené větrání s rekuperací tepla.....	10
2.3.5. Rozdělení budov	11
2.3.6. Proměnné náklady na vytápění jednotlivých zdrojů tepelné energie	13
2.3.7. Tepelná čerpadla	15
2.3.8. Kotle na tuhá paliva a kotle kondenzační.....	19
2.4. Metodika stanovení potřeby energie	23
2.4.1. Výpočet celkové tepelné ztráty budovy.....	24
2.4.2. Celková spotřebovaná energie za rok.....	28
2.5. Metodika ekonomického hodnocení.....	30
2.5.1. Kritéria ekonomického hodnocení.....	31
2.5.2. Vstupní údaje: diskont, eskalace cen, doba porovnání.....	33
3. Určení tepelných ztrát a výpočet energetické náročnosti RD	34
3.1. Popis objektu.....	34
3.1.1. Základní geometrické údaje o RD	35
3.2. Výpočet součinitele prostupu tepla.....	38
3.3. Zhodnocení stávajícího stavu	39
3.4. Analýza energetických potřeb.....	43

3.4.1.	Souhrn	45
4.	Návrh variant řešení RD z hlediska možnosti žádosti o dotaci	47
4.1.	Varianta 1 a 2 – Malá fotovoltaická elektrárna	47
4.2.	Varianta 3 – Rekuperace	54
4.3.	Varianta 4 – Dům v pasivním standardu	60
4.4.	Závěrečné vyhodnocení navržených variant	67
5.	Závěr	69
6.	Použité zdroje	70
7.	Tištěné přílohy	74
8.	Elektronické přílohy	87

1. Úvod

V teoretické části této práce rozeberu problematiku zásobování rodinných domů energií. Nejprve začnu legislativou vztahující se na toto téma. Uvedu, kdy je nutné nechat vypracovat průkaz energetické náročnosti budovy. Dále rozeberu, na čem výsledné hodnocení v tomto průkazu závisí a jaký je postup výpočtu. Po teoretické části práce bych již měl být schopný podle popsaného postupu vyhodnotit zmíněný průkaz energetické náročnosti budovy pro reálný objekt, který je předmětem této práce. Objekt je aktuálně ve fázi výstavby a hodnotit jej budu podle projektové dokumentace po technické i ekonomické stránce týkající se spotřeby energie.

V praktické části práce si kladu za cíl posoudit návrh rodinného domu dle jeho projektové dokumentace a orientačně určit jeho provozní náklady. Poté navrhnu opatření, která povedou ke snížení potřeby energie rodinného domu. Otázkou ale bude: „Jsou ekonomicky výhodná?“. Pro každé opatření tak budu posuzovat jeho vliv na rodinný dům a efekt/úsporu, kterou vyvolá. Opatření budou řešena s ohledem na možnost získání dotace z dotačního programu Nová zelená úsporám.

2. Systémy pro zásobování RD energií

V této kapitole nejprve krátce zmíním legislativu, kterou je potřeba znát při technicko-ekonomickém hodnocení stavu budovy. Uvedu, kdy je nutné nechat vypracovat průkaz energetické náročnosti budovy (dále PENB), jaké podmínky jsou pro budovy stanoveny a na základě které vyhlášky se PENB vyhotovuje. Poté se budu zabývat problematikou týkající se zásobování RD elektrickou a tepelnou energií. Nastíním, na čem závisí spotřeba energie v objektu, s tím spojené platby za energie a jaké jsou možnosti vedoucí k úsporám. Posledním bodem této kapitoly bude metodika výpočtu energetické náročnosti budovy a ekonomického hodnocení.

2.1. Legislativa¹

Novela zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, implementuje příslušné předpisy Evropské unie stanovené zákonem č. 318/2012 Sb. a určuje například některá z opatření pro zvýšení hospodárnosti využití energie, požadavky na uvádění spotřeby energie na energetických štítcích výrobků spojených se spotřebou energie a další. Z tohoto zákona mě nejvíce zajímá část § 7 o snižování energetické náročnosti budov. Zde se dovíme, že při výstavbě nové budovy je stavebník povinen plnit požadavky na energetickou náročnost budovy podle prováděcího právního předpisu a společně s žádostí o stavební povolení nebo žádostí o změnu stavby před jejím dokončením předložit PENB. Ten je také nutno vypracovat při prodeji budovy nebo její ucelené části, pronájmu a od 1. 1. 2016 také při pronájmu ucelené části budovy. PENB mimo jiné obsahuje hodnocení splnění požadavků na energetickou náročnost budovy na nákladově optimální úrovni od 1. 1. 2013. V blízké budoucnosti ale nastane změna. Od 1. 1. 2020 budou muset budovy s energeticky vztahnou plochou menší než 350 m² splňovat požadavky na energetickou náročnost budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Pokud bude ovšem energeticky vztahná plocha budovy menší než 50 m², pak tyto požadavky splňovat nemusí.²

Prováděcím předpisem při hodnocení budovy je vyhláška č. 78/2013 Sb. Předmětem této vyhlášky je stanovení nákladově optimální úrovně náročnosti budovy pro nové budovy, větší³ nebo jiné změny dokončených budov a pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Dále obsahuje metodu pro výpočet energetické náročnosti budovy včetně vzorů, jak by mělo vyhodnocení vypadat. PENB zařazuje budovu do jedné z klasifikačních tříd, které jsou rozděleny

¹ BERANOVSKÝ, Jiří a Jan POKORNÝ. *Je úsporný dům opravdu úsporný?*, Praha: Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie, 2014 [cit. 2017-02-16].

² Odstavec zpracován dle: ČR. *Zákon č. 406/2000 Sb.: Zákon o hospodaření energií*. In: . Praha: MPO, 2000, ročník 1, 115/2000, číslo 406. Dostupné také z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-406/zneni-20160101>

³ Větší změnou se rozumí změna dokončené budovy na více než 25 % celkové plochy obálky budovy dle zákona 406/2000 Sb. § 2 odstavce.

dle celkové dodané energie do budovy a jejího vlivu na životní prostředí do tříd A (mimořádně úsporná) až G (mimořádně neekonomická). PENB platí po dobu 10 let od jeho vypracování v případě, že budova neprošla během tohoto období větší rekonstrukcí. Zpracovává jej energetický specialista, který absolvoval přezkoušení dle § 10 zákona č. 406/2000 Sb.⁴

Energetický štítek budovy nebo přesněji energetický štítek obálky budovy vypovídá na rozdíl od PENB pouze o vlastnostech obálky, nikoli o celkové energetické náročnosti budovy. Obálka budovy je souhrnem veškerých stavebních konstrukcí oddělujících vnitřní prostředí budovy od vnějšího/venkovního. Energetický štítek poskytuje podpůrná data pro PENB a vyhotovuje se na základě ČSN 73 0540-2. Rovněž se zařazuje do klasifikačních tříd A–G, kdy A je nejlepší.⁵

2.2. Zásobování RD elektřinou

Zákazník má dle zákona č. 458/2000 Sb. právo na uzavření smlouvy o připojení odběrného elektrického zařízení k přenosové či distribuční soustavě za předpokladu splnění podmínek pro připojení, podmínek obchodních⁶ a má souhlas vlastníka dané nemovitosti. Zákazník je povinen umožnit instalaci měřicího zařízení provozovateli distribuční soustavy (dále DS). Zákazník může také provozovat vlastní zdroj elektřiny, ale pouze po dohodě s provozovatelem DS.

Pro připojení k DS žadatel podá žádost pro připojení, která se zaeviduje a následně proběhne její technické posouzení. Odběrné místo může být připojeno k DS přímo, elektrickou přípojkou nebo prostřednictvím domovní instalace. Toto připojování je navrhováno provozovatelem DS s ohledem na plánovaný rozvoj soustavy a s respektováním co nejmenších nákladů na straně žadatele. V případě úpravy nebo výstavby DS vyvolaných požadavkem žadatele na připojení nového OM nebo zvýšením příkonu současného OM se žadatel o připojení podílí na těchto úpravách ve výši stanovené právními předpisy. Elektrická přípojka začíná odbočením od rozvodného zařízení provozovatele DS směrem k odběrateli. V soustavě nízkého napětí se připojení provádí buď venkovním vedením, nebo vedením kabelovým. Koncovým bodem bude kabelová, nebo přípojková skříň. Zde se ukončuje přípojka nízkého napětí. Přívodní vedení⁷ za přípojkovou nebo kabelovou skříň je již součástí elektrického zařízení nemovitosti.⁸ Dle zákona

⁴ ČR. *Vyhláška č. 78/2013 Sb.: Vyhláška o energetické náročnosti budov*. In: Praha: MPO, 2013, ročník 1, 115/2000, číslo 78.

Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2013-78>

⁵ INKAPO. *Energetický štítek* [online]. Praha: Inkapo, 2014. [cit. 2016-10-23]. Ing. Zdeněk Petrtyl. Dostupné z:

<http://www.inkapo.cz/sluzby/energeticky-stitek-obalky-budov>

⁶ Pravidla provozování DS stanovují minimální technické, plánovací, provozní a informační požadavky pro připojení zákazníku k DS. Dále stanovují základní pravidla zajišťující spolupráci mezi jednotlivými účastníky trhu.

⁷ Přívodní vedení obvykle zahrnuje hlavní domovní vedení, odbočky k elektroměrům, vedení od elektroměru k rozvaděčům a rozvod za podružnými rozvaděči.

⁸ Zpracováno dle: PROVOZOVATELÉ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV. *Pravidla provozování distribučních soustav: Standardy připojení zařízení k distribuční soustavě* [online]. Praha: ERU, 2016 [cit. 2016-10-23]. Dostupné z:

http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2011/ppds-2011-priloha-6_def.pdf, str. 4-8

č. 458/2000 Sb. elektrickou přípojku zřizuje na vlastní náklady provozovatel DS v zastavěném území podle zvláštního právního předpisu a mimo zastavěné území v případě délky do 50 m včetně. V případě délky nad 50 m mimo zastavěné území hradí náklady žadatel o připojení.⁹

Přestože energetická náročnost domácích spotřebičů v posledních desetiletích znatelně klesla, spotřeba elektřiny v domácnostech neklesá. Důvodem neklesající spotřeby je rostoucí počet zařízení využívajících elektrickou energii. Mezi tato zařízení můžeme zařadit například kuchyňské roboty, kávovary, počítače, přehrávače, myčky nádobí a další.¹⁰ Příklad, jak by mohla domácnost vypadat, je znázorněn viz Tabulka 1. V tomto příkladu jsem využil domácnosti s instalovaným tepelným čerpadlem typu země-voda se zabudovaným zásobníkem teplé vody o objemu 200 l.

Tabulka 1 – Domácnost a její spotřebiče. Zdroj: Vlastní tvorba.

Místnost	Spotřebič	Počet [ks]	Elektrický příkon [kW]	Elektrický příkon celkem [kW]
Dětský pokoj	TV	1	0,070	0,0700
	Osvětlení	4	0,012	0,0480
	PC sestava	1	0,550	0,5500
	Hifi soustava	1	0,020	0,0200
Kuchyň	Pračka	1	2,000	2,0000
	Trouba	1	3,200	3,2000
	Myčka	1	1,000	1,0000
	Lednice	1	0,025	0,0250
	Kávovar	1	1,400	1,4000
	Osvětlení	2	0,020	0,0400
	Mikrovlnná trouba	1	1,000	1,0000
Rych. konvice	1	2,000	2,0000	
Obývací pokoj	TV	1	0,070	0,0700
	Osvětlení	5	0,012	0,0600
	Hifi soustava	1	0,030	0,0300
Ložnice	Osvětlení	3	0,012	0,0360
Chodba	Osvětlení	6	0,012	0,0720
WC	Osvětlení	2	0,012	0,0240
Koupelna	Osvětlení	6	0,012	0,0720
Ostatní	Notebook	2	0,065	0,1300
	Žehlička	1	1,000	1,0000
	Vysavač	1	0,800	0,8000
	Fritéza	1	1,500	1,5000
	Tepelné čerpadlo	1	3,700	3,7000
	Elektrokotel	1	7,500	7,5000
Celkem	x	x	x	26,3470

⁹ ČR. Zákon č. 458/2000 Sb.: Energetický zákon. In: Praha: MPO, 2000, ročník 1, 131/2000, číslo 458. Dostupné také z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458>, str. 4500

¹⁰ SRDEČNÝ, Karel. EKOWATT. *S energií efektivně: příručka pro energeticky úspornou domácnost* [online]. 1. Praha: Magistrát hlavního města Prahy, 2015 [cit. 2016-11-05]. Dostupné z: http://ekowatt.cz/cz/publikace/S_energie_efektivne_prirucka_pro_energeticky_ustupnou_domacnost, str. 6

Celkový elektrický příkon spotřebičů činí $P = 26\,347\text{ W}$. Ovšem všechny spotřebiče dozajista nebudou pracovat současně a ne všechny spotřebiče, které se mohou vyskytovat v RD jsou zahrnuty (například elektrická pila, gril a další). Proto využiji koeficient soudobosti (soudobé zapojení), který jsem si po konzultaci orientačně určil na hodnotu $k_s = 0,5$ i z důvodu, že největší elektrické spotřebiče, jako jsou elektrická trouba, tepelné čerpadlo nebo elektrokotel, nemusí pracovat na svůj maximální výkon a jejich aktuální příkon bude mnohem menší. Nyní si pro tuto domácnost vypočítám velikost jističe, kde využiji vzorce:

Rovnice 1 – Výpočet velikosti jističe.

$$I_{3f} = \frac{P \cdot k_s}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos\phi} \quad [A],$$

kde

U_s je sdružené napětí [V], což znamená hodnotu 400 V a $\cos\phi$ účinník [-] stanovený na hodnotu 0,95. Výsledkem je hodnota $I_{3f} = 20,02\text{ A}$, což znamená doporučení proudové hodnoty jističe standardní proudové řady 3 x 25 A. Hodnota jističe by měla zaručovat uživatelské pohodlí i při eventuálním připojení dalších elektrických spotřebičů, kterými mohou být sauna nebo zmíněná pila. Proudová hodnota jističe se bude lišit v závislosti na způsobu vytápění (elektřinou či jiným způsobem), příkonu spotřebičů a jejich počtu. U rodinných domů je ale vhodné zvolit třífázový rozvod. Pro pohodlné používání stále většího množství spotřebičů se často volí vyšší hodnota jističe, ovšem za cenu vyšší měsíční platby za jistič.

Úspory finančních prostředků lze dosáhnout i bez snížení spotřeby elektrické energie přechodem k jinému dodavateli (obchodníkovi s elektřinou). Obchodníka s elektřinou lze měnit dle zákona jednou ročně. Důležitá je také správná volba sazby, jelikož některé poskytují levnější elektřinu v nízkém tarifu (až 22 hodin). Každá sazba má ale své podmínky. Pro domácnosti jsou zde dvě skupiny sazeb: dvoutarifové a jednotarifové. Dvoutarifové sazby jsou pro domácnosti, které topí elektřinou (tepelné čerpadla, akumulární vytápění, přímotopy) nebo využívají elektromobilu. Například pro domácnosti s instalovaným tepelným čerpadlem před rokem 2005 je distribuční sazba D55d. Tato sazba má nízký tarif (dále NT) 22 hodin a vysoký tarif (dále VT) zbývající 2 hodiny. Časy trvání VT a NT (od kdy do kdy) jsou určeny dodavatelem elektřiny. Úspory dosáhneme i správnou volbou jističe, která se určí podle příkonů spotřebičů v domácnosti. Přehled sazeb příkládám, viz Obrázek 1.¹¹ Ostatní sazby jsou jednotarifové. Jednotarifové sazby budeme volit na základě spotřeby. Při menší spotřebě se vyplatí tarif D01d

¹¹ SRDEČNÝ, Karel. EKOWATT. *S energií efektivně: příručka pro energeticky úspornou domácnost* [online]. 1. Praha: Magistrát hlavního města Prahy, 2015 [cit. 2016-11-05]. Dostupné z: http://ekowatt.cz/cz/publikace/S_energie_efektivne_prirucka_pro_energeticky_ustpornou_domacnost, str. 6-9

(spotřeba cca do 800 kWh. rok⁻¹, podle velikosti jističe). Pro ostatní se zvolí distribuční sazba D02d.

Obrázek 1 – Přehled sazeb pro domácnosti. Zdroj: Vlastní tvorba.

D01d – jednotarif – 24 hodin stejná cena elektřiny – běžná spotřeba – malé využití.
D02d – jednotarif – 24 hodin stejná cena elektřiny – běžná spotřeba – větší využití.
D25d – dvoutarif – 8 hodin NT – pro akumulaci ohřev vody.
D26d – dvoutarif – 8 hodin NT – pro akumulaci ohřev vody nebo vytápění.
D27d – dvoutarif – 8 hodin NT – při využívání elektromobilu.
D35d – dvoutarif – 16 hodin NT – pro hybridní elektrické spotřebiče pro vytápění.
D45d – dvoutarif – 20 hodin NT – pro vytápění pomocí přímotopů.
D55d – dvoutarif – 22 hodin NT – pro vytápění tepelným čerpadlem uvedeným do provozu do 31. 3. 2005.
D56d – dvoutarif – 22 hodin NT – pro vytápění tepelným čerpadlem uvedeným do provozu od 1. 4. 2005 do 31. 3. 2016.
D57d – dvoutarif – 22 hodin NT – pro vytápění tepelným čerpadlem uvedeným do provozu od 1. 4. 2016.
D61d – dvoutarif – NT od pátku 12 hod do neděle 22 hod – pro chaty, chalupy, rekreační obydlí.

2.3. Zásobování RD teplem

Spotřebu tepla je potřeba posuzovat pro každý objekt zvlášť. Spotřeba tepla na vytápění je určena zejména konstrukcí domu, polohou/umístěním domu, velikostí objektu a dalšími faktory. Rozdílným architektonickým řešením a rozdílnou skladbou konstrukce budovy dochází k rozdílné potřebě tepla. V této podkapitole popíšu, jak lze potřebu tepla snížit, jaké je současné rozdělení budov dle jejich energetické náročnosti a jaké máme možnosti při volbě zdroje/zdrojů sloužících k pokrytí tepelné potřeby energie objektu. V praktické části práce tyto znalosti využiji ke zhodnocení stávajícího návrhu RD dle jeho projektové dokumentace a navrhnou možná opatření vedoucí ke snížení potřeby energií.

2.3.1. Zateplování

Zejména u starých rodinných domů se řeší otázka, zateplovat či nikoli? Zateplovat lze více způsoby. Prvním způsobem je vnější kontaktní zateplení (přípevnění vrstvy izolace na fasádu budovy) chrání objekt v zimě před mrazem, v létě před slunečním žářem, značně snižující potřebu tepla pro vytápění.¹² Mnoho lidí se domnívá, že po zateplení nebude dům moci „dýchat“, čímž se rozumí schopnost propouštět vodní páry vznikající sušením prádla, přítomností osob v objektu atd. U cihlových stěn lze proto z tohoto důvodu využít materiálů s nízkým difúzním faktorem¹³ (desky ze skelných nebo minerálních vláken, lepidla a omítky). Druhým způsobem zateplení je novým vnějším pláštěm (např. keramické obklady, plastové lamely), který nese konstrukce zakotvená do původní stěny. Do meziprostoru se vhodně vloží tepelná izolace tak, aby v ní zůstala větraná vzduchová mezera, kterou může unikat vlhkost z interiéru. Tím se velmi snižuje zmíněné riziko kondenzace. Větraná mezera ale nemůže být moc široká z důvodu

¹² Vzhledem k ceně se nejčastěji využívá pěnový polystyren. Často používané materiály jsou vzhledem ke své odolnosti proti ohni také minerální nebo skelná vata.

¹³ Bezrozměrná veličina udávající kolikrát je příslušný materiál méně propustný pro vodní páru než vzduch.

tvorby tepelných mostů. Konstrukce by poté mohla ochlazovat původní zeď. Třetím způsobem je zateplování vnitřní, které se využije například u historicky cenných fasád. Zjevnou nevýhodou je ale zmenšení plochy bytu. Posledním způsobem, který zde uvedu, je zateplování stropů a střech. Strop budeme zateplovat, pokud má dům nevytápěnou půdu. K zateplení lze využít rohože z minerální vlny, poté se vytvoří nad izolací prkenné chodníčky a izolace se překryje lepenkou. Zateplení střechy závisí na tom, zda je střecha plochá nebo šikmá. Zateplení šikmých střech lze provést systémem zateplení nad krokviemi, systémem mezi a pod krokviemi a systémem mezi a nad krokviemi. Systém zateplení nad krokviemi se objevuje stále častěji z důvodu vyšších požadavků norem na zateplení šikmých střech a s tím související vyšší tloušťce izolantu (například skelná vata). U plochých střech je nutné rozlišit, zda je pochozí či nikoli. I nepochozí střecha musí kromě zamezení unikání tepla snést zátěž mokrého sněhu, zamezit pronikání vody do chráněného prostoru a nedovolit šíření plamenů po jejím povrchu (požadavky technických norem). Využitým materiálem může být expandovaný polystyren. V případě střechy pochozí se využívá například extrudovaný polystyren.^{14 15 16}

2.3.2. Výběr oken

Důležitým parametrem při výpočtu spotřeby tepla v objektu je také součinitel prostupu tepla okny. V současnosti jsou na trhu nejrozšířenější okna plastová. Mezi často využívaná dále patří dřevěná nebo hliníková okna. U rodinných domů se ale převážně instalují okna plastová. Výhodou plastových oken je odolnost proti korozi, povětrnostním vlivům a rezistence proti většině čisticích a jiných chemických roztoků. Nevýhodou je křehkost a termoplastičnost, jelikož PVC je materiál citlivý na vyšší teploty. Další nevýhodou je nutnost jejich seřizování, která může být způsobena rozdílnou tepelnou roztažností ocelové výztuhy a plastového profilu. Také je nemožná pozdější obnova povrchové úpravy.¹⁷ Nová okna by měla být vzhledem k ekonomičnosti vždy s trojsklem (dvojsklo má smysl využít pouze v nevytápěných prostorách). Standardně využívaná trojskla mají součinitel prostupu tepla roven $0,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$. Důležitou hodnotou při výběru oken je také propustnost slunečního záření (solární faktor, dále g [-]).

¹⁴ SRDEČNÝ, Karel. EKOWATT. *S energií efektivně: příručka pro energeticky úspornou domácnost* [online]. 1. Praha: Magistrát hlavního města Prahy, 2015 [cit. 2016-11-05]. Dostupné z:

http://ekowatt.cz/cz/publikace/S_energie_efektivne_prirucka_pro_energeticky_ustpornou_domacnost, str. 20-28

¹⁵ ISOVER. *Zateplování: Zateplení fasády, střechy, podlahy*. [online]. Praha: Isover, 2016 [cit. 2016-11-05]. Dostupné z:

<http://www.isover.cz/>

¹⁶ MURTINGER, Karel. *Úsporný rodinný dům*. Praha: Grada Publishing, 2013, str. 54-61

¹⁷ ŠUBRT, Roman a Zdeněk PETRYL. *Plastová okna: Okna a dveře* [online]. Praha: tzb-info, 2014 [cit. 2016-11-06].

Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/okna-dvere/236-plastova-okna>

Hodnota již zmíněného standardního trojskla je $g = 0,5$ (čím vyšší hodnota, tím lepší). Zvolení vhodných oken pro daný objekt může znamenat úsporu potřeby tepla až o několik procent.¹⁸¹⁹

2.3.3. Architektonický tvar domu

Rostoucí význam mají v současnosti, v předcházejícím sloupci zmíněné, energetické zisky, kdy například u tzv. pasivních domů energetické zisky pokryjí převážnou část potřeby tepla a teoreticky se obejdou po většinu roku bez „běžného“ vytápění. Energetické zisky jsou tvořeny kromě pasivních solárních zisků (prosklené plochy) například spotřebiči, přítomností osob a dalšími zdroji.²⁰

Důležitým ukazatelem je objemový faktor tvaru budovy A/V , stanovující se v souladu s ČSN 73 0540-2. Objemový faktor je poměrem plochy všech obalových konstrukcí a objemu budovy. U tvarově jednoduchých objektů (např. tvaru kvádrů) se podílí konstrukce na celkové tepelné ztrátě mnohem méně a právě proto jsou pasivní domy jednoduchých tvarů. Pokud je tedy záměr postavit novostavbu v pasivním standardu, měl by se tento požadavek projevit již v prvotním návrhu tvaru objektu. V praktické části tak budu hodnotit i tvar posuzovaného objektu.

2.3.4. Nucené větrání s rekuperací tepla

Zvýšenou pozornost u rodinných domů si zaslouží větrání a možnost rekuperace. Dle vyhlášky č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, je v odstavci § 11 uvedena pro pobytové místnosti minimální hodnota vyměňovaného venkovního vzduchu, která je stanovena na $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na osobu nebo minimální intenzita větrání $0,5 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$.²¹ Obyvatelé objektu by této hodnotě měli věnovat zvýšenou pozornost, protože dlouhodobý pobyt v místnosti s nedostatkem čerstvého vzduchu způsobuje zdravotní problémy. Tento problém může nastat po výměně původních oken za modernější okna s lepšími izolačními vlastnostmi. Výhodiskem a energeticky efektivní variantou je instalace řízeného větrání s rekuperací tepla. Rekuperační systémy jsou především deskové a trubkové výměníky. Teplo se zde předává mezi přiváděným vzduchem a vzduchem odváděným přes stěnu výměníku. Účinnost ovlivňuje i poměr přiváděného a odváděného (odpadního) vzduchu a kondenzace vlhkosti z odváděného vzduchu. V případě většího množství odváděného vzduchu, než je množství vzduchu přiváděného,

¹⁸ HRDLIČKA, Jakub. SLAVONA. *Vliv solárních zisků a součinitele prostupu tepla okny na potřebu tepla na vytápění* [online]. Praha: slavona, 2015 [cit. 2016-11-06]. Dostupné z: <http://www.slavona.cz/tema-mesice/vliv-solarnich-zisku-a-soucinitele-prostupu-tepla-okny.html>

¹⁹ MURTINGER, Karel. *Úsporný rodinný dům*. Praha: Grada Publishing, 2013, str. 31-47

²⁰ HUDCOVÁ, Lenka. *Energetická náročnost budov* [online]. Praha: EkoWATT, 2009 [cit. 2017-02-16]. ISBN 978-80-87333-03-7. Dostupné z: http://ekowatt.cz/library/dokumenty/Energeticka_narocnost_budov.pdf

²¹ Více o vyhlášce naleznete zde: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-268>

účinnost roste. Při vyšší vlhkosti odváděného vzduchu roste teplota rosného bodu²², riziko kondenzace vody a množství kondenzátu. Pro domácnosti (objekty s menším průtokem vzduchu) jsou nejrozšířenější deskové rekuperační výměníky. Alternativou je regenerační systém, kdy se k zpětnému získávání tepla využívá hmoty výměníku, kde se teplo z odpadního vzduchu předá do akumulační hmoty a z ní se poté teplo uvolňuje do přiváděného vzduchu.²³²⁴

2.3.5. Rozdělení budov

Rozdělení budov vzhledem k jejich energetické náročnosti řeší norma ČSN 73 0540. Požadavky na energetickou náročnost jsou vztaženy vzhledem k národní metodice TNI 73 0329 pro rodinné domy. Budovy lze, zjednodušeně řečeno, rozdělit na standardní, nízkoenergetické, pasivní, nulové, nezávislé a plusové budovy. Standardní budovy se vyznačují minimálním zateplením a vyšší potřebou tepla v rozmezí 80–140 kWh. m⁻². rok⁻¹²⁵. Vzhledem k rostoucí ceně energie a dotačním programům často dochází k jejich rekonstrukcím. Nízkoenergetické budovy jsou charakteristické nízkou potřebou tepla na vytápění, konkrétně pod 50 kWh. m⁻². rok⁻¹, jejichž průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy není vyšší než doporučená hodnota dle ČSN 73 0540-2²⁶. Pasivní budovou se označuje taková budova, které nepřekračuje 15 kWh. m⁻². rok⁻¹ s průměrným součinitelem prostupu tepla nepřekračující doporučenou hodnotu pro pasivní domy dle ČSN 73 0540-2. Pro dosažení hodnot pasivního domu je potřeba využití nejen vyšší tloušťky izolace, moderních materiálů, maximalizace tepelných zisků, ale také vhodné polohy objektu. Nulové budovy mají potřebu tepla menší než 5 kWh. m⁻². rok⁻¹. Na svůj provoz proto stále potřebují určité množství energie. Potřebnou energii si však z velké části dokáží pokrýt samy například pomocí kogenerační jednotky. Nezávislé budovy nejsou napojené na veřejnou energetickou síť, jsou převážně řešeny jako budovy pasivní/nulové s možností akumulace energie (tepelné, elektrické) a pokrývající potřebu energie pomocí obnovitelných zdrojů (vychází se z tohoto konceptu). Plusové budovy pokryjí nejen svou energetickou potřebu, ale jsou také schopny dodávat

²² Rosný bod je teplota, kdy je vzduch maximálně nasycen vodními parami. Pokud teplota klesne pod tento bod, nastává kondenzace.

²³ QPRO. *Zpětné získávání tepla ve vzduchotechnice* [online]. Praha: QPRO, 2014 [cit. 2016-11-06]. Dostupné z: <http://www.qpro.cz/ZT-rekuperace-regenerace>

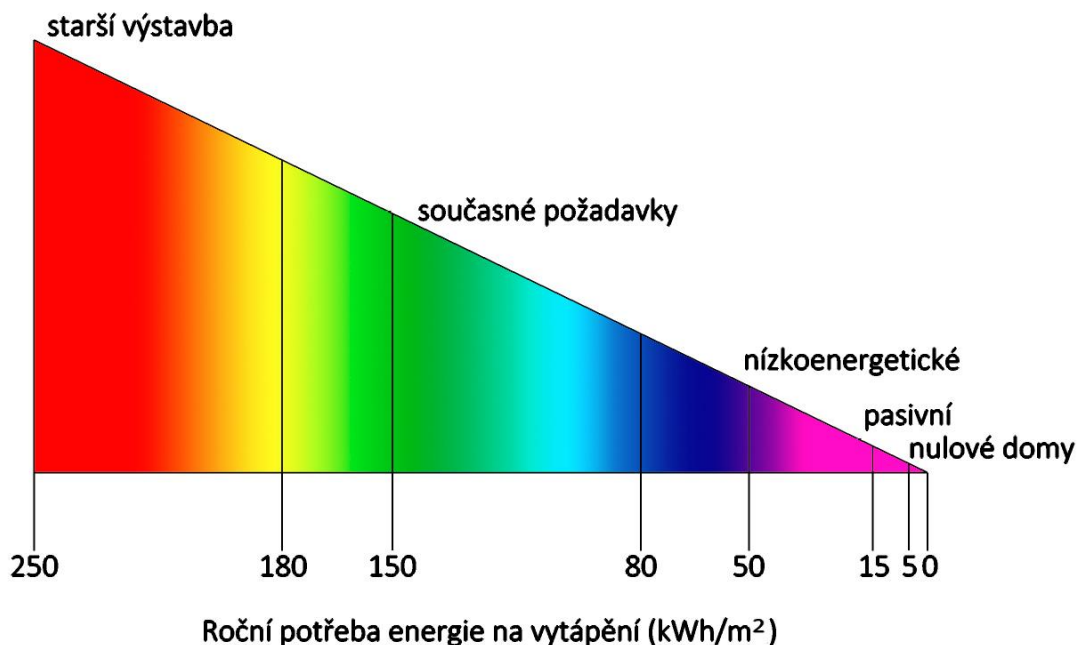
²⁴ LAIN, Miloš. ČVUT - FAKULTA STROJNÍ. *Zpětné získávání tepla ve větrání a klimatizaci* [online]. Praha: tzb, 2006 [cit. 2016-11-06]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3648-zpetne-ziskavani-tepla-ve-ventrani-a-klimatizaci-i>

²⁵ Starší mohou mít dokonce hodnotu nad 200 kWh/(m².a).

²⁶ Hodnoty pro jednotlivé konstrukce viz: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/136-normove-hodnoty-soucinitele-prostupu-tepla-un-20-jednotlivych-konstrukci-dle-csn-73-0540-2-2011-tepelna-ochrana-budov-cast-2-pozadavky>

přebytky elektrické energie do distribuční sítě.²⁷²⁸²⁹ Rozdělení budov dle tohoto popisu zobrazuje Obrázek 2.

Obrázek 2 – Rozdělení budov podle roční potřeby tepla na vytápění. Zdroj: BERANOVSKÝ, Jiří a Jan POKORNÝ. Je úsporný dům opravdu úsporný?, Praha: Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie, 2014 [cit. 2017-02-16].



Při hodnocení budov se rovněž setkáme s ukazatelem celkové primární energie a neobnovitelné primární energie. Parametr neobnovitelná primární energie, který se určuje od roku 2013, zohledňuje ekologii daného objektu vzhledem k výrobě potřebné energie. Primární energie neprošla žádným procesem přeměny. Tvoří ji součet primární obnovitelné a primární neobnovitelné energie. Stanoví se na základě faktorů primární energie, kdy každému energonositeli je přiřazen faktor celkové primární energie a neobnovitelné primární energie dle vyhlášky č. 78/2013 Sb. Ukazatel celkové primární energie musím brát v současnosti při volbě zdroje pro rodinný dům (respektive novostavbu) v potaz. Faktory pro různé energonositele přikládám viz Tabulka 2.

²⁷ BERANOVSKÝ, Jiří a Jan POKORNÝ. *Je úsporný dům opravdu úsporný?*, Praha: Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie, 2014 [cit. 2017-02-16].

²⁸ ČSN 73 0540-2 *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*, ÚNMZ Praha, 2011

²⁹ TNI 73 0329 *Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - Rodinné domy*

Tabulka 2 – Faktory primární energie. Zdroj: Vyhláška č. 78/2013 Sb.: Vyhláška o energetické náročnosti budov. In: Praha: MPO, 2013, ročník 1, 115/2000, číslo 78. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2013-78>

Energonositel	Faktor celkové primární energie (-)	Faktor neobnovitelné primární energie (-)
Zemní plyn	1,1	1,1
Černé uhlí	1,1	1,1
Hnědé uhlí	1,1	1,1
Propan-butan/LPG	1,2	1,2
Topný olej	1,2	1,2
Elektřina	3,2	3
Dřevěné peletky	1,2	0,2
Kusové dřevo, dřevní štěpka	1,1	0,1
Energie okolního prostředí (elektřina a teplo)	1,0	0
Elektřina - dodávka mimo budovu	-3,2	-3
Teplo - dodávka mimo budovu	-1,1	-1
Soustava zásobování tepelnou energií s vyšším než 80% podílem obnovitelných zdrojů	1,1	0,1
Soustava zásobování tepelnou energií s vyšším než 50% a nejvýše 80 % podílem obnovitelných zdrojů	1,1	0,3
Soustava zásobování tepelnou energií s 50% a nižším podílem obnovitelných zdrojů	1,1	1
Ostatní neuvedené energonositele	1,2	1,2

2.3.6. Proměnné náklady na vytápění jednotlivých zdrojů tepelné energie

Při volbě zdroje tepla pro vytápění objektu musíme uvažovat s tím, jaká je jeho technologie a jaké jsou jeho vstupy, viz Tabulka 3. U vstupů nás, kromě počáteční investice, bude zajímat cena paliva, dostupnost, využívané spalovací zařízení a efekt na cenu elektrické energie v závislosti na odpovídající sazbě pro domácnost.

Tabulka 3 – Proměnné náklady na vytápění dle druhu paliva. Hodnoty převzaty ze zdroje k 1. 1. 2016: Porovnání nákladů na vytápění podle druhu paliva [online]. Praha: TZB, 2016 [cit. 2016-11-20]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/139-porovnaní-nakladu-na-vytapani-podle-druhu-paliva>

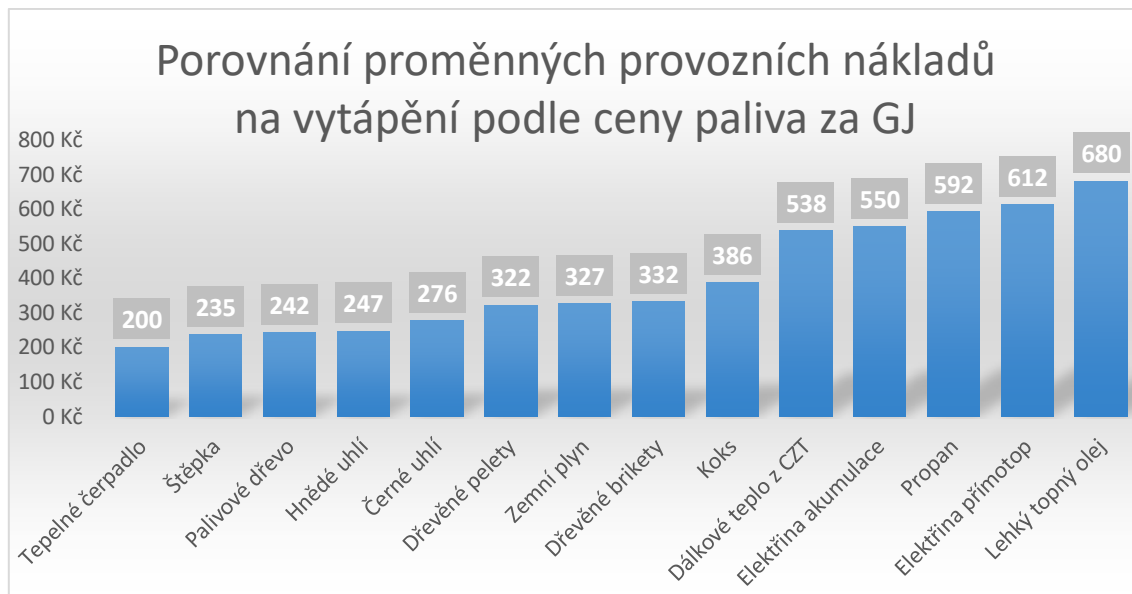
Palivo ³⁰	Výhřevnost		Cena paliva		Spalovací zařízení	Účinnost	Cena tepla v palivu	
						[%]	[Kč/kWh]	[Kč/GJ]
Hnědé uhlí	18,0	[MJ/kg]	3,55	[Kč/kg]	Automatický kotel	80,00%	0,89	247
Černé uhlí	23,1	[MJ/kg]	5,10	[Kč/kg]	Automatický kotel	80,00%	0,99	276
Koks	27,5	[MJ/kg]	8,50	[Kč/kg]	Automatický kotel	80,00%	1,39	386
Palivové dřevo	14,6	[MJ/kg]	3,00	[Kč/kg]	Kotel na dřev. pelety	85,00%	0,87	242
Dřevěné brikety	17,0	[MJ/kg]	4,80	[Kč/kg]	Kotel na dřev. pelety	85,00%	1,20	332
Dřevěné pelety	17,0	[MJ/kg]	5,20	[Kč/kg]	Automatický kotel pelety	95,00%	1,16	322
Štěpka	12,5	[MJ/kg]	2,50	[Kč/kg]	Kotel na dřev. pelety	85,00%	0,85	235
Zemní plyn	37,8	[MJ/m ³]	12,60	[Kč/m ³]	Kondenzační kotel	102,00%	1,18	327
Propan	46,4	[MJ/kg]	28,00	[Kč/kg]	Kondenzační kotel	102,00%	2,13	592
Lehký topný olej	42,0	[MJ/kg]	28,00	[Kč/kg]	Kondenzační kotel na LTO	98,00%	2,45	680
Elektřina akumulace	3,6	[MJ/kWh]	1,84	[Kč/kWh]	S akumulární nádrží	93,00%	1,98	550
Elektřina přímotop	3,6	[MJ/kWh]	2,16	[Kč/kWh]	Přímotopné panely	98,00%	2,20	612
Tepelné čerpadlo	3,6	[MJ/kWh]	2,16	[Kč/kWh]	Průměrný roční topný faktor	3,0	0,72	200
Dálkové teplo z CZT	1,0	[GJ/GJ]	527,00	[Kč/GJ]	Účinnost	98,00%	1,94	538

Proměnné provozní náklady na vytápění objektu jsou přehledně znázorněny, viz Obrázek 3. Jedná se ale pouze o orientační porovnání. Ceny paliva se budou lišit dle regionu a jeho dostupnosti. U zdrojů tepla pracujících na elektrický proud se počítalo s cenou elektrické energie, která se bude lišit v závislosti na distribučním území, dodavateli energie a tarifu. V závislosti na distribučním území se budou lišit také stálé měsíční platby za jistič, které v porovnání nejsou započteny, jelikož by se musela vyčíslit spotřeba GJ za rok (pro konkrétní objekt), aby bylo možno tyto náklady rozpočítat. I přesto lze prohlásit, že využívání přímotopů nebo akumulární nádrže jako zdroje tepla nebude ekonomicky výhodné. Mimo provozních

³⁰ U elektrické energie se neuvažuje platba za jistič a měsíční poplatek za odběrné místo.

nákladů bude stěžejní především počáteční investiční výdaj na pořízení zdroje. Podmínky, které si vyžadají jednotlivé zdroje, uvedu dále.

Obrázek 3 – Proměnné náklady na vytápění dle paliva. Zdroj: Vlastní tvorba.

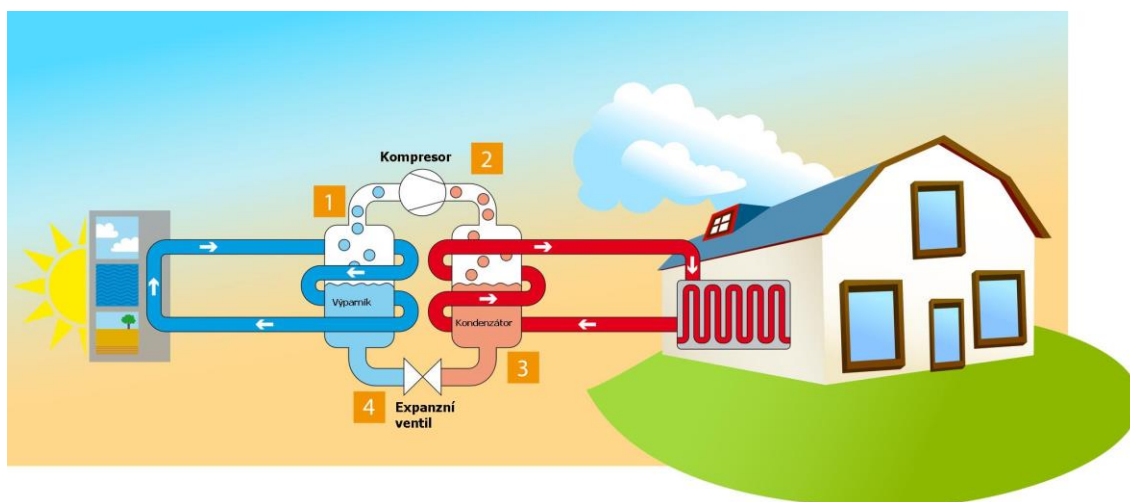


2.3.7. Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla spadají do kategorie alternativních zdrojů energie, neboť odnímají teplo z okolního prostředí, převedou jej na vyšší teplotní hladinu a následně využijí pro vytápění objektu nebo na ohřev vody. Tepelné čerpadlo obsahuje výparník, kompresor, kondenzátor a expanzní ventil. Nízkopotenciální teplo odebrané venkovnímu prostředí se ve výparníku předá pracovní látce, kapalnému chladivu, při relativně nízké teplotě. Zahřátím chladiva dochází k jeho odpaření. Tyto páry jsou následně stlačeny v kompresoru. Chladivo dále pokračuje do kondenzátoru, kde kondenzuje a předává teplo do topné vody za teploty vyšší, než byla odebrána výparníkem. V expanzním ventilu se cyklus uzavře a dojde ke snížení tlaku chladiva na původní hodnotu ve výparníku. Popsaný princip tepelného čerpadla viz Obrázek 4.³¹

³¹ KRAINER, Robert. *Tepelná čerpadla* [online]. Praha: TZB, 2014 [cit. 2016-11-26]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelnacerpadla>

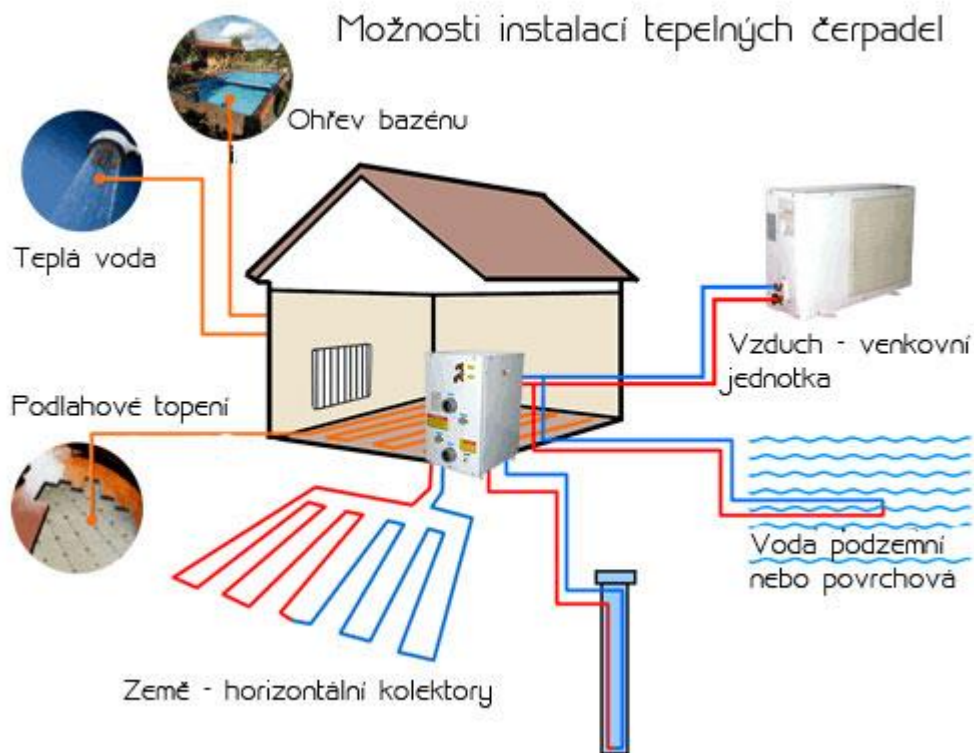
Obrázek 4 – Princip tepelného čerpadla. Zdroj: Tepelné čerpadlo a jeho princip [online]. Praha: Gemtec Green Energy, 2016 [cit. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://www.gemtec.cz/čerpadlo/>



Pro správnou technologickou funkci tepelného čerpadla, bez ohledu na jeho typ, jsou zapotřebí tři samostatné okruhy předávání energie, které vycházejí z principu popsaného výše. Jedná se o primární, kompresorový a sekundární okruh. Primární okruh slouží jako zdroj energie pro tepelné čerpadlo. Tento zdroj může mít podobu nemrznoucí směsi, která cirkuluje v plastové trubce několik set metrů dlouhé (zemní kolektor) a průchodem zemí se „ohřívá“ o několik stupňů °C. Dalším zdrojem energie může být povrchová, podzemní nebo spodní voda procházející výparníkem odebírajícím část jejího tepla. Jako zdroj energie lze také využít venkovní vzduch, který by procházel vnější jednotkou (výparník s ventilátorem) odebírající tepelnou energii a vyhánějící ochlazený vzduch zpět do venkovního prostředí. Kompresorový okruh je uzavřený a naplněný chladivem, na kterém jsou umístěny oba tepelné výměníky (výparník a kondenzátor), kompresor a expanzní ventil. Sekundární okruh zabezpečuje odvod tepla pro vytápění. Jednotlivé způsoby instalací tepelných čerpadel viz Obrázek 5.³²

³² Tepelná čerpadla MasterTherm [online]. Praha: MasterTherm, 2016 [cit. 2016-12-04]. Dostupné z: http://www.mastertherm.cz/sites/default/files/downloads/tc_master_therm_uzivatelsky_manual_160418_0.pdf

Obrázek 5 – Možnosti instalací tepelných čerpadel. Zdroj: Tepelná čerpadla - levné teplo z okolí Vašeho domu [online]. Praha: Ekomplex, 2016 [cit. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/tepelna-čerpadla.php>

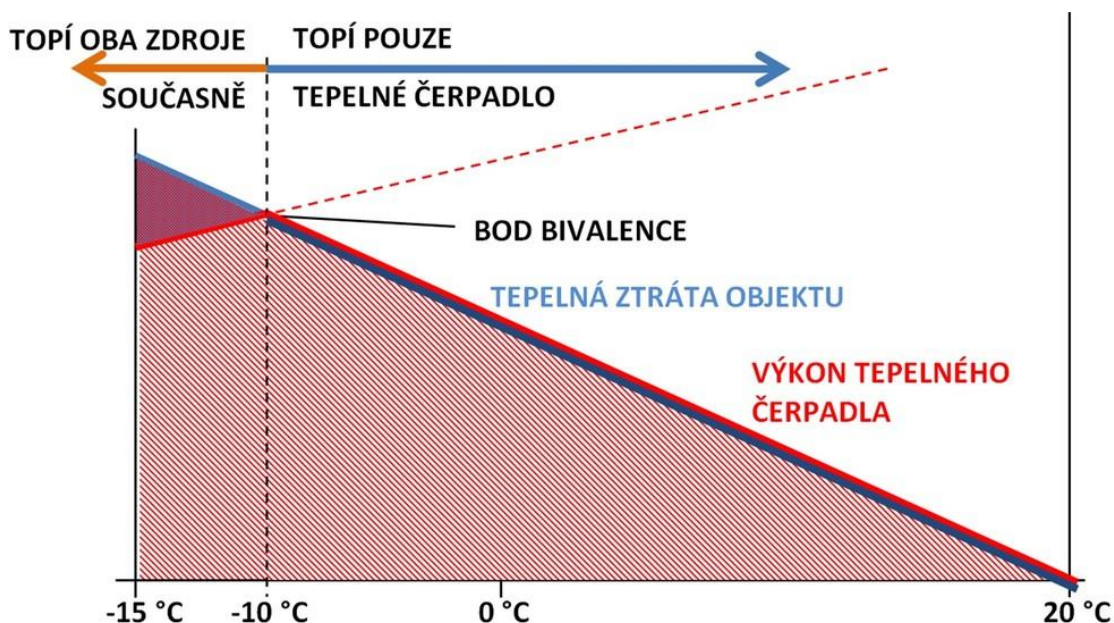


Systém vytápění může být monovalentní, kdy tepelné čerpadlo zajišťuje plně tepelnou potřebu objektu, nebo bivalentní, kdy část tepla dodá přídatný zdroj. Bivalentní systém je v současnosti využíván více, především kvůli investičním výdajům a faktu, že nejvyššího výkonu by bylo zapotřebí pouze v nejchladnějších dnech. Z tohoto důvodu se také nedá v praxi využít například systém vzduch-voda jako monovalentní, to znamená bez přídatného zdroje. Jako přídatný zdroj se obvykle využívá elektrokotel.

Požadavkem na systém tepelného čerpadla typu vzduch-voda je umístění na volném prostranství s dobrým přístupem vzduchu. Optimální umístění je na fasádu, střechu nebo volně stojící mimo objekt na jeho jižní straně. Doporučený výkon pro bivalentní provoz při podmínkách A7W35 (vzduch 7 °C, topná voda 35 °C) se dimenzuje na pokrytí tepelné ztráty objektu v rozmezí 100–130 %. Jedná se o metodu nejméně účinnou, ale vzhledem k nízkým investičním výdajům často využívanou. Při poklesu venkovní teploty klesá výkon tepelného čerpadla až do bodu, kdy není tepelné čerpadlo schopno vytápět objekt na požadovanou hodnotu. Tento bod se nazývá bodem bivalence, který lze vidět viz Obrázek 6. Bod bivalence závisí na výkonu tepelného čerpadla, tepelné ztrátě objektu a geografické poloze objektu. Musí se proto určit pro každý

objekt individuálně.³³ Průměrný topný faktor čerpadla systému vzduch-voda může být srovnatelný se systémem čerpadla země-voda, protože na začátku a na konci topné sezóny bývá vzduch teplejší než zem. Vzniklá úspora při zvolení systému čerpadla země-voda oproti systému čerpadla vzduch-voda nemusí pokrýt investiční rozdíl z důvodu vysoké ceny vrtů.

Obrázek 6 – POLÍVKA, Jiří. AC HEATING - TEPELNÁ ČERPADLA S INVERTOREM. Dimenzování výkonu TČ [online]. Praha: tzb-info, 2013 [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/10249-projektovani-topnych-zdroju-s-tepelnymi-cerpadly>



Požadavky na systém tepelného čerpadla typu země-voda se liší v závislosti na zvolené variantě, která může být s plošným kolektorem nebo vrtem. U plošného kolektoru závisí na velikosti pozemku, kdy na 1 kW výkonu tepelného čerpadla je zapotřebí odhadem 30 m² pozemku. Z toho vyplývá, že je potřeba dostatečně velkého pozemku a navíc na ploše, kde je uložen zemní plošný kolektor nelze stavět další objekty, jako je garáž. Oproti tomu varianta s vrtem potřebuje minimální prostor na pozemku, ovšem je mnohem nákladnější. Na 1 kW výkonu tepelného čerpadla se potřebuje odhadem 12m vrt, přičemž jednotlivé vrty mohou být hluboké až 150 m.³⁴

U systému tepelného čerpadla typu voda-voda se požadavky budou lišit, a to v závislosti na zdroji vody, kterým může být studna, řeka nebo rybník. U studny se musí provést čerpací zkouška, kdy pro rodinný dům je nutná vydanost zdroje 0,5 l. s⁻¹. U řeky nebo rybníku, vzhledem k jejich dlouhodobé teplotě nižší než 5 °C, se do koryta nebo na dno vodní plochy umisťují hadice

³³ Vytápění tepelným čerpadlem Master Therm [online]. Praha: MasterTherm, 2016 [cit. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://www.mastertherm.cz/vytapani>

³⁴ Tepelná čerpadla země - voda [online]. Praha: MasterTherm, 2016 [cit. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://www.mastertherm.cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda>

PE (systém výměníku), které obsahují jako náplň nemrznoucí směs. Využití musí schválit příslušné orgány (Správce toku, Meliorační správa nebo Obecní úřad). V našich klimatických a ekonomických podmínkách se doporučuje instalovat výkon tepelného čerpadla na cca 70 % tepelné ztráty objektu. Zbytek by byl kryt přídatným zdrojem. Instalace výkonu TČ na 100 % tepelné ztráty by znamenala podstatně vyšší prvotní investiční výdaj. Rozdíl v prvotní investici by se v současnosti nepokryl rozdílem v provozních nákladech.³⁵

Tepelné čerpadlo, jako každý zdroj tepla, má své specifické vlastnosti, ke kterým je nutno přihlídnout. U tepelných čerpadel jde především o výkon tepelného čerpadla a jeho topný faktor. Topný faktor je poměrem výkonu a příkonu a značně závisí na teplotním rozdílu mezi primárním a sekundárním okruhem (teplotou vody v otopném systému). Čím větší je tento rozdíl, tím menší je výkon čerpadla a topný faktor klesá. Proto dosahují tepelná čerpadla nejvyšší účinnosti v kombinaci s nízkoteplotní otopnou soustavou, což znamená podlahové nebo stěnové vytápění, případně vytápění s velkoplošnými radiátory. Z tohoto důvodu bývají tepelná čerpadla také vybaveny ekvitermní regulací, která reguluje teplotu topné vody s ohledem na venkovní teplotu tak, aby teplota v místnosti byla konstantní.³⁶

2.3.8. Kotle na tuhá paliva a kotle kondenzační

Dne 1. 9. 2012 vstoupil v platnost zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, na jehož základě byl v lednu 2014 ukončen prodej kotlů na tuhá paliva splňující podmínky první a druhé emisní třídy (1. emisní třída – nejhorší, 5. emisní třída – nejlepší). Dle ČSN EN 303-5 bude následovat od 1. 1. 2017 povinnost předložit na vyžádání obecního úřadu revizi domácího kotle na tuhá paliva, kterou je povinné nechat si vyhotovit do 31. 12. 2016. Platnost revize je dva roky. Od 1. 1. 2018 se ukončí taktéž prodej kotlů na tuhá paliva třetí emisní třídy. K 1. 9. 2022 bude povinností domácnosti prokázat, že jejich instalovaný kotel na tuhá paliva splňuje nejméně podmínky třetí emisní třídy dle ČSN EN 303-5, jinak jim hrozí vysoké pokuty až do výše 50 000 Kč. Dne 29. 5. 2016 rovněž skončily dodávky od výrobců nekondenzačních plynových kotlů v provedení turbo, což znamená odvod spalin obvodovou stěnou či střechou a nekondenzačních plynových kotlů, které jsou napojeny do komína s výjimkou kotlů pouze pro topení s výkonem do 10 kW a kotlů do 30 kW s průtokovým ohřevem teplé vody.³⁷

V současnosti je při výběru kotle na tuhá paliva rozhodující technologie. Technologií se zde myslí pořizovací a provozní náklady a palivová univerzálnost. U kotlů platí, že čím více je řízen

³⁵ *Tepelná čerpadla voda - voda* [online]. Praha: MasterTherm, 2016 [cit. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://www.mastertherm.cz/tepelna-čerpadla-voda-voda>

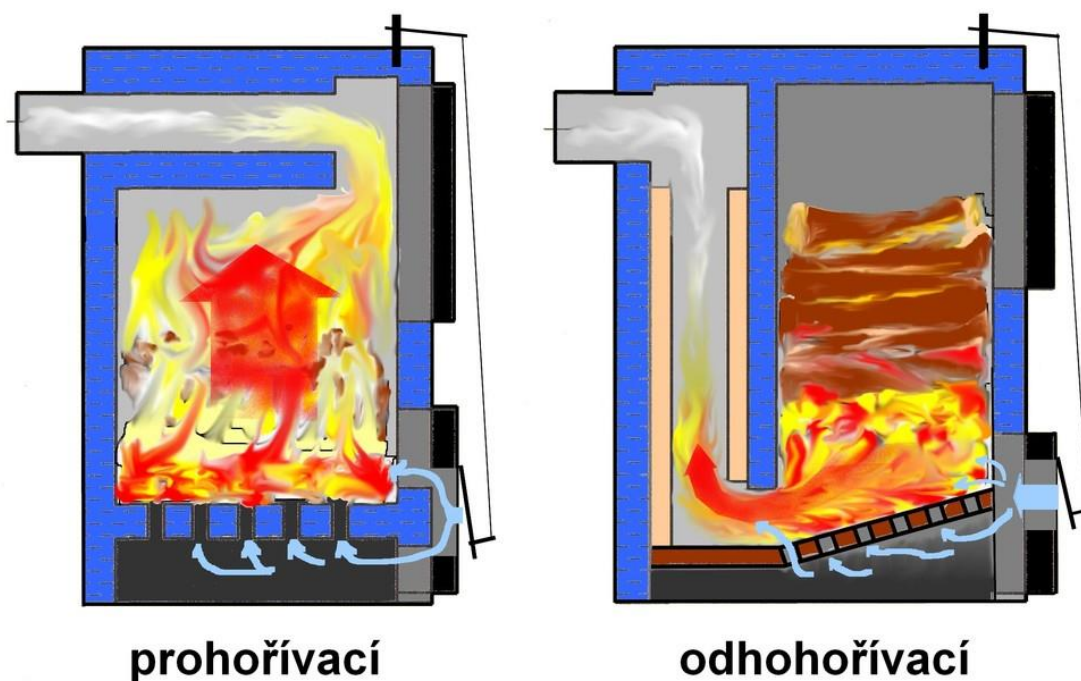
³⁶ *Vytápění tepelným čerpadlem Master Therm* [online]. Praha: MasterTherm, 2016 [cit. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://www.mastertherm.cz/vytapeni>

³⁷ *Kotle, kamna, krby* [online]. Praha: tzb, 2016 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby>

automaticky (automaticky bez zásahu obsluhy, nucený přísun spalovacího vzduchu), tím vyšší se předpokládá schopnost kvalitního spalování. Prísun spalovacího vzduchu může být buď přirozený, nebo nucený. Přirozený závisí pouze na tahu komína, který vytváří v ohništi podtlak a zapříčiní nasávání vzduchu speciálními otvory do ohniště. Nucený je takový, kdy je podtlak v ohništi vytvářen a regulován odtahovým ventilátorem. Prísun paliva lze taktéž rozdělit, a to na dodávku ruční a samočinnou. Ruční dodávka závisí na rychlosti hoření a tepelném výkonu. Samočinná dodávka závisí na tepelném výkonu a palivo je dodáváno samočinně.

Samotné kotle se dle technologie základně dělí na kotle prohořivací a odhořivací viz Obrázek 7. Prohořivací kotle, ve kterých probíhá postupné spalování a ve kterých spaliny procházejí přes vrstvu paliva, a odhořivací kotle, v nichž probíhá postupné spalování paliva ve vrstvě plynule doplňované a ve kterých spaliny neprocházejí přes vrstvu paliva. Jedná se o kotle s ručním přikládáním paliva a přirozeným přívodem spalovacího vzduchu.

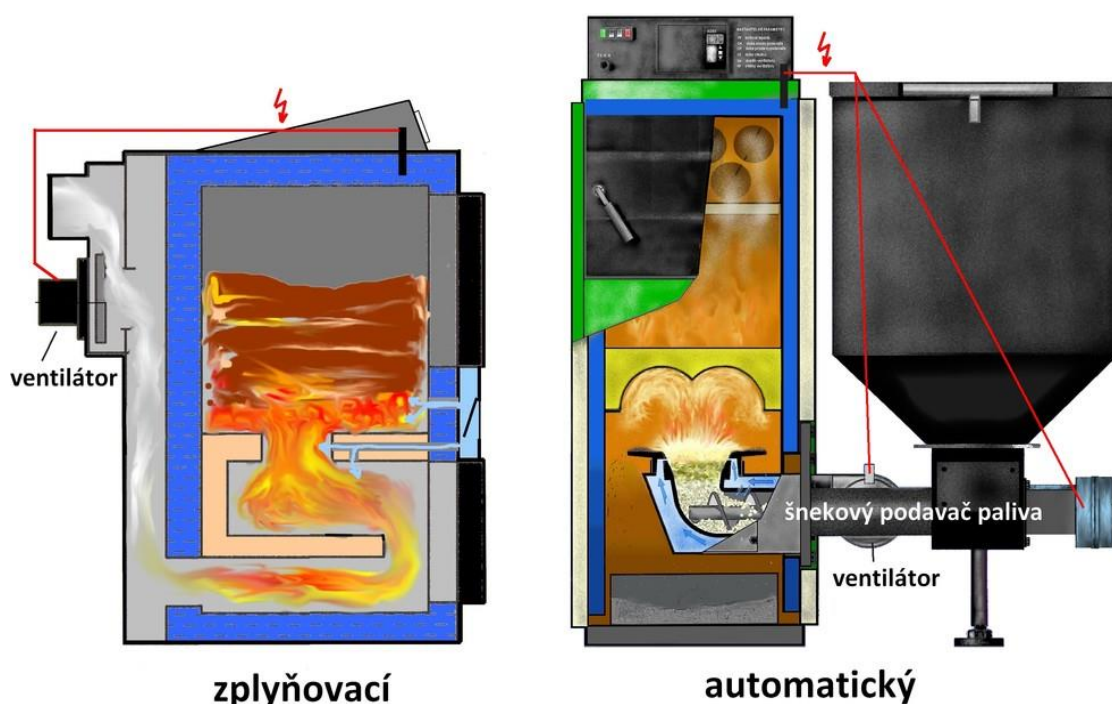
Obrázek 7 – Prohořivací vs. odhořivací kotel. Zdroj: LYČKA, Zdeněk. Jak vybrat nový kotel na pevná paliva (1) [online]. Praha: tzb, 2013 [cit. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9798-jak-vybrat-novy-kotel-na-pevna-paliva-1>



Výkon byl dán v závislosti na množství a kvalitě přiloženého paliva a komínového tahu. U prohořivacího kotle jsou tradičním zástupcem litinové kotle. Litinové kotle byly původně zkonstruovány pro spalování koksu, při kterém lze dosáhnout u některých konstrukcí emisní třídy 3. Při spalování černého uhlí a kusového dřeva ovšem dosáhnou maximálně emisní třídy 2. Od roku 2014 je tedy nebude možno pro tato paliva prodávat a od 1. 9. 2022 vůbec provozovat. Odhořivací kotel, kde palivo odhořívá postupně vespodu násypky, naopak po jistých úpravách

může dosáhnout emisní třídy 3. V současnosti se ale setkáme spíše s nabídkou kotlů zplyňovacích nebo automatických. Zplyňovací kotel je druhem odhořivacího kotle, ovšem s tím rozdílem, že vyšší úrovně spalování je dosaženo řízeným přísunem spalovacího vzduchu. Tím zplyňovací kotle běžně dosahují emisní třídy 3. Automatické kotle pak mají i samočinnou dodávku paliva. Automatické kotle dosahují úrovně 3. a 4. emisní třídy a při spalování pelet dokonce emisní třídy 5, která je z pohledu emisí nejnižší (pro ovzduší nejlepší varianta). Zplyňovací a automatický kotel viz Obrázek 8.³⁸

Obrázek 8 – Zplyňovací vs. automatický kotel. Zdroj: LYČKA, Zdeněk. Jak vybírat nový kotel na pevná paliva (1) [online]. Praha: tzb, 2013 [cit. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9798-jak-vybirat-novy-kotel-na-pevna-paliva-1>



U kondenzační techniky není využito pouze teplo vzniklé spalováním plynu nebo oleje, ale také dodatečné teplo obsažené ve spalínách. Toto teplo se přeměňuje na teplo topné. Proto kondenzační kotle obsahují tepelné výměníky nerezové, které před odvodem tepla ochladí spaliny natolik, že vodní pára ve spalínách zkondenzuje a uvolněné teplo převádí do topného systému. Součtem takto získané energie a výhřevnosti zemního plynu lze při optimálních podmínkách dosáhnout provozní účinnosti vyšší než 100 %.³⁹ Zvolení vhodného topného

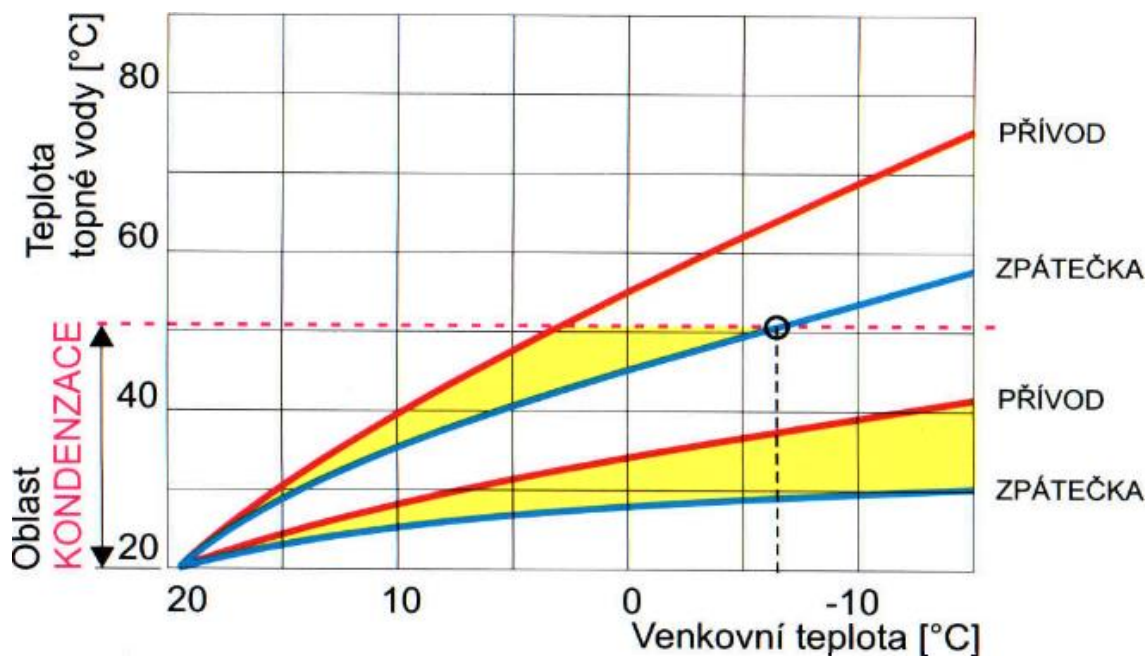
³⁸ LYČKA, Zdeněk. *Jak vybírat nový kotel na pevná paliva (1)* [online]. Praha: tzb, 2013 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9798-jak-vybirat-novy-kotel-na-pevna-paliva-1>

³⁹ *Efektivní vytápění plynem díky kondenzační technice* [online]. Praha: Viessmann, s.p. o. s. r. o., 2016 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://www.viessmann.cz/cs/obytne-budovy/plynove-kotle/plynove-kondenzacni-kotle.html>

systemu, stejně jako u tepelných čerpadel, bude záviset na potřebném výkonu kotle, energetickém nositeli (dostupnosti) a individuálních požadavcích provozovatele zařízení.

Za účelem dosažení maximální účinnosti mají moderní plynové kondenzační kotle řízen směšovací poměr spalovacího vzduchu a plynu, který zajistí optimální podmínky pro spalování plynu. V závislosti na požadovaném výkonu se mění otáčky ventilátoru tak, aby byla udržena nízká hodnota přebytku vzduchu, který ovlivňuje hodnotu rosného bodu. Rosný bod chceme udržovat co nejnižší a za pomoci řízení jej můžeme udržovat na hodnotě až 55 °C. Přebytek vzduchu je obvykle v rozmezí hodnot 1,2–1,4. Čím nižší je přebytek vzduchu, tím vyšší je teplota rosného bodu a tím vyšší může být i provozní účinnost. Kondenzační kotle jsou vhodné především pro otopné soustavy s podlahovým vytápěním, jelikož zde postačí nízká teplota otopné vody, což znamená velkou rezervu pod rosným bodem spalin respektive vyhovění podmínce pro maximální kondenzaci za jakéhokoliv počasí. V tomto případě tak bude mít maximální stupeň využití. Obrázek 9 zobrazuje dvě ekvitermní křivky s teplotním rozdílem 40/30 °C (červená a modrá, které jsou umístěny níže) a 75/60 °C (umístěny výše). Červená křivka značí teplotu přírodní vody a modrá značí teplotu vratné vody. Rosný bod je vyznačen červenou přerušovanou čarou. Pod ní dochází ke kondenzaci vodní páry ve spalinách. U systému s teplotním rozdílem 40/30 °C lze vidět, že ke kondenzaci bude docházet za všech venkovních teplot. U systému s teplotním rozdílem 75/60 °C bude probíhat kondenzace vody ve spalinách až do venkovní teploty -7 °C. Kondenzační kotle lze tedy využít při vyšších návrhových teplotách otopné vody v soustavách.

Obrázek 9 – Ekvitermní křivky otopných soustav. Zdroj: KVASNIČKA, Pavel. Výměny plynových atmosférických kotlů za kondenzační, úspornější a ekologičtější – část 1,2. [online]. Praha: tzb, 2016 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/14978-vymeny-plynovych-atmosferickych-kotlu-za-kondenzacni-uspornejsi-a-ekologictejsi-cast-1>



Kondenzační kotel se instaluje jako spotřebič v provedení C, to znamená odvod spalin ven a přívod spalovacího vzduchu z exteriéru, přičemž provoz vzduchospalinové cesty je nucený (s ventilátorem).⁴⁰

Plynová kondenzační technika bývá umístěna v objektu, především ve sklepních prostorách, takže je nutné počítat s prostorem, který tato technika zabere. Další otázkou je, zda má dům vybudovanou plynovou přípojku, případně jaké by byly náklady na její vybudování. U olejové kondenzační techniky by se mělo brát v potaz, jestli máme olejovou nádrž, její velikost a prostor jí odpovídající. Modernější kotle již bývají mnohdy připraveny na variantu paliva v podobě topného oleje s podílem bio oleje, což by majitele vzhledem k možným provozním úsporám mělo také zajímat.⁴¹

2.4. Metodika stanovení potřeby energie

V předchozích kapitolách jsem popsal legislativu, ze které budu v této práci vycházet a faktory ovlivňující potřebu elektrické a tepelné energie, jakožto i jejich náklady. V následujících

⁴⁰ KVASNIČKA, Pavel. Výměny plynových atmosférických kotlů za kondenzační, úspornější a ekologičtější – část 1,2. [online]. Praha: tzb, 2016 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/14978-vymeny-plynovych-atmosferickych-kotlu-za-kondenzacni-uspornejsi-a-ekologictejsi-cast-1>

⁴¹ Který topný systém? [online]. Praha: Viessmann, 2016 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://www.viessmann.cz/cs/obytne-budovy/ktery-topny-system.html>

dvou podkapitolách popíšu metodiku a postup výpočtu při hodnocení objektu skládající se z technické a ekonomické části respektující zmíněné faktory.

2.4.1. Výpočet celkové tepelné ztráty budovy

V této části práce uvedu postup výpočtu celkové tepelné ztráty objektu. Tepelná ztráta budovy Φ_c [W] je rovna součtu tepelné ztráty větráním Φ_v [W] a tepelné ztráty prostupem stěnami Φ_p [W] zmenšenou o tepelné zisky objektu Φ_z [W]. Rovnice vypadá následovně⁴²:

Rovnice 2 – Tepelná ztráta budovy.

$$\Phi_c = \Phi_v + \Phi_p - \Phi_z.$$

➤ Výpočet tepelné ztráty větráním

Pro výpočet tepelné ztráty větráním se nejprve musí určit měrný tepelný tok větráním H_v [W·K⁻¹] spočtený podle vztahu v ČSN EN ISO 13789:

Rovnice 3 – Měrný tepelný tok větráním.

$$H_v = \rho_a \cdot c_p \cdot \frac{n}{3600} \cdot V_i,$$

kde

součin $\rho_a \cdot c_p$ představuje objemovou tepelnou kapacitu vzduchu [$\text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$] a $\frac{n}{3600} \cdot V_i$ vyjadřuje objemový tok vzduchu v klimatizovaném prostoru [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$].⁴³ Je nutné dbát na zajištění dostatku čerstvého vzduchu neboli jinak řečeno dostatečné intenzity větrání n [h^{-1}] ve vnitřních prostorech z hygienických důvodů. V_i reprezentuje objem těchto vnitřních prostor [m^3]. Vzhledem k izolačním vlastnostem moderních typů oken, dveří a konstrukcí je pro dostatečný přísun čerstvého vzduchu mnohdy nezbytné instalovat systém s nuceným oběhem vzduchu. Požadavky na větrání obytných budov jsou nadřazené úsporám energie a dané normou ČSN EN 15665/Z1.

⁴² HRADÍLEK, Zdeněk, Ilona LÁZNIČKOVÁ a Vladimír KRÁL. *Elektrotepelná technika* [online]. Praha: Úrad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011 [cit. 2017-01-01]. ISBN ISBN 978-80-01-04938-9. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595e44e1fa66875530f33e8a/cvut-3-elektrotepelná.pdf>

⁴³Pro upřesnění: ρ_a ... hustota vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$], c_p ... měrná tepelná kapacita [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$], n ... odhadnutá průměrná intenzita přirozeného větrání [l/s] a V_i objem vzduchu v hodnocené zóně [m^3].

Po vypočtení měrného tepelného toku větráním lze již určit tepelnou ztrátu způsobenou větráním danou vztahem:

Rovnice 4 – Tepelná ztráta větráním.

$$\Phi_v = H_v (\theta_i - \theta_e),$$

kde

θ_i respektive θ_e je vnitřní výpočtová teplota [K] respektive venkovní výpočtová teplota [K].

➤ Výpočet tepelné ztráty prostupem stěnami

Pro výpočet tepelné ztráty prostupem stěnami potřebuji znát tepelný odpor materiálů a konstrukcí. Tepelný odpor charakterizuje tepelně izolační vlastnosti materiálů. Tepelný odpor [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$] j-té vrstvy se dle normy ČSN EN ISO 6946 vypočte jako podíl tloušťky materiálu d_j [m] a tepelné vodivosti materiálu λ_j [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]. Vzorec tedy vypadá následovně:

Rovnice 5 – Tepelný odpor.

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j}.$$

Při znalosti jednotlivých vrstev konstrukce lze poté určit celkový tepelný odpor R_{th} [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$] této konstrukce spočtený dle vzorce:

Rovnice 6 – Celkový tepelný odpor.

$$R_{th} = R_{se} + \sum_j (R_j) + R_{si},$$

kde

R_{se} [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$] a R_{si} [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$] je tepelný odpor při přestupu tepla na vnější respektive vnitřní straně viz Tabulka 1, Tabulka 4.

Tabulka 4 – Návrhové hodnoty při přestupu tepla na vnější a vnitřní straně. Zdroj: ČSN 73 0540-3.

	Povrch	Konstrukce	[$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]	
Období	Vnější (R_{se})	x	0,04	
Zimní		x	0,03	
Zimní (výška ≥ 1000 m. n. m)		x	0,07	
Letní		x		
Zimní i letní	Vnitřní (R_{si})	Svislá	0,13	
		Vodorovná	Tepelný tok nahoru	0,1
			Tepelný tok dolů	0,17

Součinitel prostupu tepla U [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$] je stejně jako tepelný odpor veličinou charakterizující tepelně izolační vlastnosti konstrukce a spočte se jako převrácená hodnota tepelného odporu, což znamená:

Rovnice 7 – Součinitel prostupu tepla.

$$U = \frac{1}{R_{se} + \sum_j (R_j) + R_{si}} = \frac{1}{R_{th}}$$

Ze získaných nebo vypočtených hodnot U všech prvků obálky budovy se určí měrná ztráta celého objektu prostupem tepla H_T [$\text{W} \cdot \text{K}^{-1}$] dle ČSN 73 0540-4 vztahem:

Rovnice 8 – Měrná ztráta prostupem tepla.

$$H_T = \sum (A_j \cdot U_j \cdot b_j) + A \cdot \Delta U_{t_{bm}}$$

kde

A_j je plocha j -té teplosměnné plochy [m^2], U_j součinitel prostupu tepla j -té konstrukce, b_j činitel teplotní redukce j -té konstrukce [-], A teplosměnná plocha obálky budovy [m^2] a $\Delta U_{t_{bm}}$ průměrný vliv teplotních vazeb mezi ochlazovanými konstrukcemi [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$].

Průměrný součinitel prostupu tepla, reprezentující průměrnou hodnotu ztraceného výkonu na 1 m^2 obálkové plochy domu za teplotního rozdílu mezi vnitřním a vnějším prostředím 1 K , se pak určí dle vztahu daného normou ČSN 73 0540-4:

Rovnice 9 – Průměrný součinitel prostupu tepla.

$$U_{em} = \frac{H_t}{A}$$

Hodnota U_{em} se porovnává s hodnotu $U_{em,N}$ referenční budovy určenou dle normy ČSN 73 0540-2 (počítá se v PENB), přičemž hodnota U_{em} musí být menší nebo rovna hodnotě referenční budovy.

Tímto jsme se dostali k výslednému vztahu pro tepelnou ztrátu prostupem stěnami, která se vypočte:

Rovnice 10 – Tepelná ztráta prostupem stěnami.

$$\Phi_p = H_T(\theta_i - \theta_e)$$

➤ Výpočet tepelných zisků

Tepelné zisky objektu, které v tomto případě nejsou z otopné soustavy, se dají rozdělit na interní a externí. Interní jsou tepelné zisky z obyvatel objektu, elektrospotřebičů, osvětlení

a dalších. Tyto zisky nelze obecně přesně určit. Závisí na chování a návycích obyvatel objektu, proto je lepší je spíše poddimenzovat. Hodnoty tepelných zisků dle TNI 73 0330 stanovují tepelný zisk způsobený přítomností jednoho obyvatele v místnosti na 100 W. Pro výpočet tepelných zisků z obyvatel objektu $\Phi_{\text{int,oc}}$ [Wh. rok⁻¹], spotřebičů $\Phi_{\text{int,ap}}$ [Wh. rok⁻¹] a osvětlení $\Phi_{\text{int,lt}}$ [Wh. rok⁻¹] se používají vztahy viz Rovnice 11, Rovnice 12 a Rovnice 13⁴⁴:

Rovnice 11 – Vnitřní tepelné zisky: osoby.

$$\Phi_{\text{int,oc}} = 0,7 \cdot b \cdot 100 \cdot t,$$

kde

0,7 je koeficient přítomnosti obyvatel v objektu, b značí počet osob žijících v objektu a t délka posuzované periody (v našem případě jeden rok) [h. rok⁻¹].

Rovnice 12 – Vnitřní tepelné zisky: spotřebiče.

$$\Phi_{\text{int,ap}} = A_{f,\text{int}} \cdot f_{\text{ap}} \cdot q_{\text{ap}} \cdot t,$$

kde

$A_{f,\text{int}}$ je celková podlahová plocha zóny stanované z vnitřních rozměrů [m²], f_{ap} představuje časový podíl provozu spotřebičů [-] a q_{ap} průměrnou produkci tepla spotřebiči v zóně [W. m⁻²].

Rovnice 13 – Vnitřní tepelné zisky: osvětlení.

$$\Phi_{\text{int,lt}} = (1 - \eta_{\text{lt}}) \cdot (1 - f_{\text{lt,f}}) \cdot \Phi_{\text{IT}} \cdot t,$$

kde

η_{lt} je průměrná účinnost osvětlovací soustavy [-], $f_{\text{lt,f}}$ zastupuje časový podíl provozu odsávacích ventilátorů osvětlovací soustavy [-] a Φ_{IT} je průměrný příkon osvětlovací soustavy [W].

⁴⁴ Existuje více alternativ, např. pro vnitřní zisky nízkoenergetických rodinných domů dle TNI 73 0239.

Externí zisky jsou především solární zisky závislé na poloze objektu, jeho orientaci a využitých materiálech. Solární zisky $\Phi_{sol,i}$ [W] se podle ČSN EN ISO 13790 vypočítají:

Rovnice 14 – Solární zisky.

$$\Phi_{sol,i} = F_{sh,ob,i} * A_{sol,i} * I_{sol,i} - F_{r,i} * \Phi_{r,i},$$

kde

pro i-tý prvek obálky budovy značí $F_{sh,ob,i}$ [-] korekční činitel stínění externí překážkou na účinnou sběrnou plochu proskleného prvku $A_{sol,i}$ [m²]⁴⁵, na kterou dopadá průměrné sluneční ozáření za daný časový úsek $I_{sol,i}$ [W. m⁻²]. $F_{r,i}$ [-] je faktorem osálení probíhajícího mezi daným prvkem a oblohou způsobující tepelný tok $\Phi_{r,i}$ [W] jako důsledek tohoto sálení.

2.4.2. Celková spotřebovaná energie za rok

Celková spotřebovaná energie EP [kWh. rok⁻¹] je jedním z ukazatelů energetické náročnosti budovy stanovených ve vyhlášce č. 78/2013 Sb. Vypočte se součtem dílčích dodaných energií pro technické systémy vytápění EP_H [kWh], přípravu teplé vody EP_W [kWh], osvětlení EP_L [kWh], chlazení EP_C [kWh], úpravu vlhkosti vzduchu EP_{RH} [kWh] a nucené větrání EP_W [kWh] za období jednoho roku viz Rovnice 15.

Rovnice 15- Celková dodaná energie za období jednoho roku.

$$EP = EP_H + EP_W + EP_L + EP_C + EP_{RH} + EP_F.$$

Podle normy ČSN EN ISO 13790 je pro výpočet potřeby tepla na vytápění nutné znát venkovní teplotu v jednotlivých měsících, jejich délku a solární zisky. Potřeba tepla na vytápění $Q_{H,nd}$ [kWh. rok⁻¹] se spočte následovně:

Rovnice 16 – Potřeba tepla na vytápění.

$$EP_H = Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn},$$

kde

$Q_{H,ht}$ je množství přeneseného tepla (celková tepelná ztráta budovy) [kWh. rok⁻¹], $\eta_{H,gn}$ představuje faktor využitelnosti tepelných zisků [-] a $Q_{H,gn}$ celkové tepelné zisky [kWh. rok⁻¹].

⁴⁵ Sběrná plocha daného prvku se stanovuje odlišně pro zasklené a neprůhledné plochy. Solární radiace neprůsvitnými prvky konstrukce se např. ve výpočetním programu NKN II zanedbává, proto ji neuvádím mezi vzorci.

Za pomoci normy ČSN EN 15136-3 se stanoví dodaná energie pro přípravu teplé vody (TV) $Q_{W,gen.out}$ [kWh. rok⁻¹] následovně⁴⁶:

Rovnice 17 – Potřeba tepla pro přípravu teplé vody.

$$EP_W = Q_{W,gen.out} = \frac{(Q_W + Q_{W,dis} + Q_{W,st,ls} + Q_{W,p,ls})}{3,6},$$

kde

$Q_{W,gen.out}$ je celkový výkon zdroje tepla [kWh. rok⁻¹], Q_W potřeba tepla na ohřev TV [MJ. rok⁻¹], $Q_{W,dis}$ ztráta tepla v rozvodu teplé vody [MJ. rok⁻¹], $Q_{W,st,ls}$ ztráta tepla v zásobníku TV [MJ. rok⁻¹] a $Q_{W,p,ls}$ ztráta tepla v potrubním okruhu zdroje tepla [MJ. rok⁻¹].

Dodanou energii na osvětlení $Q_{l,dis}$ [kWh. rok⁻¹] určím dle normy ČSN EN 15 913 aplikací rychlé metody, kdy se objekt hodnotí jako celek a předpokládá se, že podíl na celkové spotřebě je relativně malý, následovně⁴⁷:

Rovnice 18 – Potřeba elektrické energie na osvětlení.

$$EP_L = Q_{l,dis} = P_n * t_o,$$

kde

P_n je celkový příkon svítidel [kW] a t_o provozní doba [h. rok⁻¹].

Potřebu energie na chlazení $Q_{C,nd}$ [kWh. rok⁻¹] hodnocené zóny určím obdobně, jako pro vytápění, dle ČSN EN ISO 13790 následovně:

Rovnice 19 – Potřeba elektrické energie na chlazení.

$$EP_C = Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,gn} \cdot Q_{C,ht},$$

kde

$Q_{C,gt}$ je velikost tepelných zisků [kWh. rok⁻¹], $\eta_{C,gn}$ představuje faktor využitelnosti tepelných ztrát [-] a $Q_{C,ht}$ je potřeba energie na pokrytí tepelného toku mezi exteriérem a interiérem [kWh. rok⁻¹].

⁴⁶ URBAN, Miroslav. *Výpočet potřeby vody a tepla pro přípravu teplé vody podle ČSN EN 15316-3* Zdroj: <http://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/7436-vypocet-potreby-vody-a-tepla-pro-priprava-teple-vody-podle-csn-en-15316-3> [online]. Praha: tzb, 2011 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/7436-vypocet-potreby-vody-a-tepla-pro-priprava-teple-vody-podle-csn-en-15316-3>

⁴⁷ HABEL, Jiří. *Energetická náročnost osvětlovacích soustav* [online]. Praha: tzb, 2013 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/osvetleni/10162-energeticka-narocnost-osvetlovacich-soustav>

Vypočtená roční potřeba energie systému zvlhčování $Q_{RH-,H}$ [kWh. rok⁻¹], se stanoví dle vztahu:

Rovnice 20 – Potřeba elektrické energie systém zvlhčování.⁴⁸

$$EP_{RH} = Q_{RH-,H} = V_{RH-} \cdot \frac{(\rho_a \cdot c_p)}{1000} \cdot (\theta_i - \theta_w) \cdot t,$$

kde

V_{RH-} je objemový tok vzduchu v režimu odvlhčování [m³.s⁻¹] a θ_w teplotu rosného bodu vnitřního vzduchu [K].

Roční dodaná energie na nucené větrání $Q_{F,fuel}$ [kWh. rok⁻¹] se stanoví součtem dodané energie na provoz ventilátorů dle vztahu:

Rovnice 21 – Potřeba elektrické energie na nucené větrání.

$$EP_F = Q_{F,fuel} = f_{F,ctl} \cdot P_{SFP} \cdot V_V \cdot t,$$

kde

$f_{F,ctl}$ je váhový činitel regulace ventilátorů [-], P_{SFP} zastupuje měrný příkon ventilátorů [kW.h.m⁻³] a V_V průměrný objemový tok vzduchu dopravovaného s pomocí ventilátorů [m⁻³.h⁻¹].

2.5. Metodika ekonomického hodnocení⁴⁹

U ekonomického hodnocení energetických projektů týkajících se RD je nejprve nutné si uvědomit jejich specifika, která jsou následující: dlouhá doba ekonomické životnosti, závislost výsledného efektu na využitých materiálech, možnost využití dotačního programu Nová zeleným úsporám a fakt, že cílem je dosažení úspor oproti stávajícímu stavu. Proto budu v praktické části práce u ekonomického hodnocení porovnávat vynaložené peněžní prostředky na dané opatření s úsporou finančních prostředků vyvolaných daným opatřením.

Samotný projekt lze hodnotit z více hledisek. Může to být z hlediska projektu nebo z hlediska investora. Hledisko projektu nezkoumá původ vložených finančních prostředků. Jde o makroekonomický pohled. Hledisko investora naproti tomu hodnotí projekt z hlediska samotného investora, tzn. nutnost zohlednit původ kapitálu a u nepodnikatelských subjektů, jako jsou domácnosti, počítat s možností získání dotace.

⁴⁸ Platí při kondenzačním způsobu odvlhčování, pro absorpční způsob: $Q_{RH-,H} = 0$.

⁴⁹ V této kapitole využito logického členění díla dle: GRECMAN, Daniel. *Ekonomické hodnocení zateplení domu*. Praha, 2015. Bakalářská práce. ČVUT. Vedoucí práce Ing. Martin Beneš, Ph.D.

2.5.1. Kritéria ekonomického hodnocení

Kritéria, která lze využít pro hodnocení ekonomické efektivity investice lze rozdělit na statická a dynamická. Statická a dynamická z pohledu respektování časové hodnoty peněz. Mezi statická kritéria, která opomíjí hodnotu peněz měnící se časem, patří doba návratnosti, celkový příjem z projektu a další. U těchto kritérií se různým způsobem porovnávají efekty plynoucí z investice (peněžní tok, úspora) a počáteční výdaje. Výhodou kritérií je jejich jednoduchost, rychlost výpočtu a lehká interpretace. Nevýhodou je, že nezohledňují riziko investice a časovou hodnotu peněz. Proto se při podrobnějších výpočtech využívají dynamická kritéria, mezi která patří diskontovaná doba návratnosti, čistá současná hodnota, vnitřní výnosové procento a další. Dynamická kritéria již berou v potaz časový faktor a riziko zahrnuté pomocí diskontování. Důležité je nastavit správně diskontní sazbu, kterou se vyjadřuje budoucí očekávaný výnos vlastního kapitálu úměrný riziku. V práci využiji jedno kritérium statické (doba návratnosti) a tři kritéria dynamická (čistá současná hodnota, vnitřní výnosové procento a diskontovaná doba návratnosti).⁵⁰ Výpočet statických i dynamických kritérií je založen na bázi hotovostních toků (anglicky Cash flow, dále CF) CF_x [Kč] pro jednotlivé roky x , které lze spočítat například pomocí přímé metody dle vzorce:

Rovnice 22 – Peněžní tok.

$$CF_x = P_x - V_x,$$

kde

P_x značí příjmy v x -tém roce [Kč] a V_x výdaje v x -tém roce [Kč].

Doba návratnosti je oblíbené kritérium především z důvodu jeho jednoduchosti. Porovnávají se zde peněžní toky a počáteční kapitálové výdaje dle vzorce:

Rovnice 23 – Doba návratnosti.

$$PP: -C_0 + \sum_{x=1}^{PP} CF_x = 0,$$

kde

C_0 jsou počáteční kapitálové výdaje [Kč], PP doba návratnosti [let], CF_x peněžní tok v x -tém roce [Kč], x jednotlivé roky ekonomické životnosti. U doby návratnosti je požadovaná hodnota co možno nejmenší, což může být samo o sobě nevýhodou, pokud porovnáváme odlišné projekty typu krátkodobého a dlouhodobého, protože bychom vždy zvolili k realizaci krátkodobý.

⁵⁰ MIČKA, Pavel. *Diskontování* [online]. 2013, 17. 5. [cit. 2016-12-17]. Dostupné z: <http://www.algoritmy.net/article/130/Diskontovani>

Nevýhodou, mimo již těch zmíněných, je také nevědomost o stavu projektu od doby návratnosti až po dobu konce jeho ekonomické životnosti.⁵¹

Diskontovanou dobu návratnosti (DPP), zohledňující časový faktor a riziko, je výhodné využít při dlouhodobém charakteru projektů, což energetické projekty jsou téměř výlučně. Stejně jako u doby návratnosti i zde budeme chtít rychlou návratnost investice, tedy nejnížší možný výsledek vypočtený dle vzorce⁵²:

Rovnice 24 – Diskontovaná doba návratnosti.

$$\text{DPP: } -C_0 + \sum_{x=1}^{\text{DPP}} CF_x \cdot (1 + r)^{-x} = 0,$$

kde

r je diskontní sazba [%]. Jak ale vyplývá z popisu těchto kritérií, nebylo by vhodné zvolit je jako hlavní kritérium, jelikož nic nevypovídají o velikosti investice. Projekt s počáteční investicí a ekonomickým efektem několik miliónů může mít stejnou dobou návratnosti jako projekt za pár desítek tisíc.

Hlavním kritériem, na základě kterého budu projekt posuzovat, bude čistá současná hodnota vypočtená následovně (NPV) [Kč]:

Rovnice 25 – Čistá současná hodnota.

$$\text{NPV} = -C_0 + \sum_{x=1}^n CF_x \cdot (1 + r)^{-x},$$

Záporné znaménko u NPV znamená, že vložený kapitál se nám během doby ekonomické životnosti projektu/investice nenavrátil ve výši, která by pokryla výnos/úsporu stanovenou diskontem. Volbu diskontu popíšu dále v této kapitole. Proto je podmínkou u NPV nezáporná hodnota. Kritérium respektuje časový faktor i riziko. NPV se doporučuje doplňovat pomocnými kritérii, které poskytnou jiný úhel pohledu. Ke stejné čisté současné hodnotě lze totiž dojít s velmi rozdílnými kapitálovými výdaji.⁵³ Pro kritéria s různou dobou porovnání lze využít roční ekvivalentní hodnotu, kdy se hodnoty NPV vynásobí anuitním faktorem.

Dalším vedlejším kritériem může být, kromě diskontované doby návratnosti, vnitřní výnosové procento (IRR) [%]. Vnitřním výnosovým procentem se nazývá úroková míra, při které je čistá současná hodnota projektu rovna nule. Proto zde nepočítáme se stanoveným diskontem, ale naopak tuto hodnotu chceme vypočítat dle vzorce:

⁵¹ KISLINGEROVÁ, E. a kol.: *Manažerské finance*. 2 přepracované a rozšířené vydání, Praha: C. H. Beck, 2007; str. 284

⁵² KISLINGEROVÁ, E. a kol.: *Manažerské finance*. 2 přepracované a rozšířené vydání, Praha: C. H. Beck, 2007; str. 284

⁵³ KISLINGEROVÁ, E. a kol.: *Manažerské finance*. 2 přepracované a rozšířené vydání, Praha: C. H. Beck, 2007; str. 270-272

Rovnice 26 – Vnitřní výnosové procento.

$$\sum_{x=1}^n CF_x \cdot (1+r)^{-x} - C_0 = 0, \quad r = \text{IRR},$$

V případě využití IRR volíme takové projekty/investice, které mají hodnotu IRR rovnou nebo vyšší než námi nastavený diskont (výnosnost projektu) a platí pravidlo, čím vyšší tím lepší. Z důvodu obtížnosti zvolit správný diskont se v praxi využívá odhadu, kdy se stanoví jeho minimum a maximum. V případě, že IRR leží nad horní hranicí tohoto odhadu, projekt je doporučen.⁵⁴

Hodnocení projektu/investice záleží na kritériu, které zvolíme, a tudíž bychom jej měli volit s ohledem na to, zda bere v potaz tyto tři faktory: riziko, čas a likviditu. Jako hlavní kritérium budu brát NPV, jako vedlejší kritéria DPP, IRR a jako čistě orientační kritérium PP.

2.5.2. Vstupní údaje: diskont, eskalace cen, doba porovnání

Volba diskontní sazby významně ovlivňuje ekonomické hodnocení projektu, neboť zahrnuje faktor času a rizika. Její určení patří k základním úlohám při investičním rozhodování.⁵⁵ Diskontní sazba by měla zobrazovat skutečnost, že investované prostředky nemohou být investorem, v tomto případě majitelem RD, použity za jiným účelem a odrážet výnosnost nejlepší neuskutečněné varianty. Jako alternativní investici pro majitele RD (pro jeho uspořené finanční prostředky) budu uvažovat investici do termínovaného vkladu na dobu 5 let s výnosností 1,25 % p. a. Tuto hodnotu volím jako diskontní sazbu, pro kterou budu prezentovat své výsledky v praktické části. Vzhledem k obtížnosti určení diskontní sazby v dlouhodobém horizontu si ovšem v praktické části vždy vynesu citlivostní analýzu, která ukáže vliv zvolení rozdílných diskontních sazeb na ekonomické hodnocení.⁵⁶

Ceny energií nejsou konstantní v čase a závisí na mnoha faktorech (např. geopolitický). Vyhláška o energetickém auditu a posudku č. 480/2012 Sb. stanovuje pro ekonomické hodnocení projektů roční eskalaci cen ve výši $g_t = 3\%$. Tuto hodnotu ve svých porovnáních volím jako výchozí.

Ve stejné vyhlášce je taktéž stanovena doba porovnání, která je stanovena na dobu 20 let. Ve svém hodnocení nicméně využiji dobu porovnání 25 let, která dle mého názoru lépe reflektuje dobu životnosti mnou navržených opatření.

⁵⁴ FORT, J., SOUČEK, I.: *Podnikatelský záměr a investiční rozhodování*. 1. vyd. Praha, Grada Publishing, 2005; str. 75-76

⁵⁵ FORT, J., SOUČEK, I.: *Podnikatelský záměr a investiční rozhodování*. 1. vyd. Praha, Grada Publishing, 2005; str.113

⁵⁶ KISLINGEROVÁ, E. a kol.: *Manažerské finance*. 2 přepracované a rozšířené vydání, Praha: C. H. Beck, 2007; str.311-312

3. Určení tepelných ztrát a výpočet energetické náročnosti RD

3.1. Popis objektu

Objekt, který je předmětem této práce, se nachází v katastrálním území Kyjovice ve Slezsku. Jedná se o novostavbu rodinného domu s garáží pro jeden osobní automobil (rozměr 14,7x13,2 m) a pergolou (11,5x3,1 m). Objekt je aktuálně ve fázi výstavby. RD je navržen jako dvoupodlažní, nepodsklepený, zastřešený sedlovou střechou. Sedlová střecha je minimálního sklonu (10°). Obytná dvoupodlažní část je ze tří stran prstencově obepínána přízemní částečně uzavřenou částí s garáží, krytým závětrím a pergolou. Objekt je navržen jako jednogenerační o šesti obytných místnostech, které budou využívat 4 osoby. RD je po patrech rozdělen na denní obytnou zónu (kuchyně, jídelna, obývací pokoj) nacházející se v přízemním podlaží (dále označováno jako 1NP) a noční obytnou zónu (2 dětské pokoje a ložnice) nacházející se v druhém nadzemním poschodí (dále označováno 2NP). Obě patra jsou navíc doplněna o pracovnu a koupelnu. Budoucí podobu RD lze vidět viz Obrázek 10.

Obrázek 10 – Rodinný dům, pohled severní a západní. Zdroj: HALFAR, Jiří. Projektová dokumentace: Novostavba rodinného domu. Ostrava, 2016.



RD stojí samostatně, je umístěn 3 m od sousedních pozemků a 8 m od sousedního objektu. Pozemek se nachází mimo záplavové či poddolované území. RD je napojen novým sjezdem na místní komunikaci, dále je napojen na dešťovou a splaškovou kanalizaci, vodovod a podzemní

vedení přes elektroměrovou skříň na hranici pozemku na HDS (hlavní domovní skříň). Plynovodní přípojka není projektována. Otopná soustava je navržena jako teplovodní (podlahové vytápění). Zdrojem tepla pro vytápění bude tepelné čerpadlo typu země-voda (zemní vrt), které lze využít v letních měsících i jako zdroj chlazení. Tepelné čerpadlo je od společnosti MasterTherm o topném výkonu 11,4 kW, chladícím výkonu 8,9 kW, příkonu 2,6 kW a topném faktoru 4,4 při BOW35 (teplota směsi 0 °C, výstupní teplota vody 35 °C). Alternativním zdrojem tepla pro vytápění je krbová vložka o jmenovitém tepelném výkonu 15 kW. K ohřevu teplé vody bude sloužit již zmíněné tepelné čerpadlo, které rovněž obsahuje jako záložní zdroj elektrokotel o jmenovitém příkonu 7,5 kW. Objem zásobníku teplé vody je 190 l. Výplně vnějších dveřních a okenních otvorů budou zasklené v plastovém provedení a izolačním trojsklem. Veškeré obytné místnosti jsou dle návrhu přirozeně provětrány okny. V kuchyni nad sporákem bude rovněž osazena digestoř. Odvod vzduchu z digestoře bude přes obvodovou zeď do fasády.

3.1.1. Základní geometrické údaje o RD

Nyní, na základě projektové dokumentace a půdorysů RD, přiložených viz Příloha 1, Příloha 2, Příloha 3, Příloha 4, nejprve uvedu celkový popis stavby, který lze vidět viz Tabulka 5. Vybavení RD (elektrospotřebiče) budu uvažovat obdobné jako v teoretické části, viz Tabulka 1, což také znamená hodnotu jističe 3x25 A. Poté upřesním celkový popis detailnějším pohledem na plochy jednotlivých místností, pomocí kterých si vypočítám vnitřní a vnější užitnou plochu objektu viz Tabulka 6 a Tabulka 7.

Tabulka 5 – Základní informace o RD. Zdroj: vlastní tvorba.

Základní informace o RD ⁵⁷		
Zastavěná plocha rodinného domu (včetně garáže a pergoly)	191	[m2]
Zastavěná plocha pergoly a závětrí	55	[m2]
Zastavěná plocha zpevněných ploch	115	[m2]
Obestavěný objem rodinného domu ⁵⁸	1019	[m3]
Objem rodinného domu	996,4	[m3]
Obestavěný objem garáže a technické místnosti	168	[m3]
Výška hřebene k terénu	7,8	[m]
Předpokládaný počet osob v RD	4	[os]
Počet podlaží	2	NP

⁵⁷ Na základě: HALFAR, Jiří. *Projektová dokumentace: Novostavba rodinného domu*. Ostrava, 2016.

⁵⁸ Liší se od objemu budovy V, jelikož se zde nezahrnují části a prvky vně systémové hranice, jako jsou přečnávající konstrukce, balkóny, nevytápěné části budovy.

Tabulka 6 – Přehled místností v 1NP. Zdroj: vlastní tvorba.

1. Nadzemní podlaží		
Číslo m.	Název místnosti	Plocha [m ²]
1.01	Zádveří	8,3
1.02	Technická místnost	10,6
1.03	Chodba	5
1.04	Schodiště	5,2
1.05	Koupelna/WC	4,5
1.06	Pokoj pro hosty	18
1.07	Obytný prostor	41
1.08	Kuchyně	14,2
1.09	Pergola	33,3
1.10	Závětrí	20,7
1.11	Garáž	21,4
1.12	Sklad	13,4
Vnitřní užitná plocha		141,6
Vnější užitná plocha		54

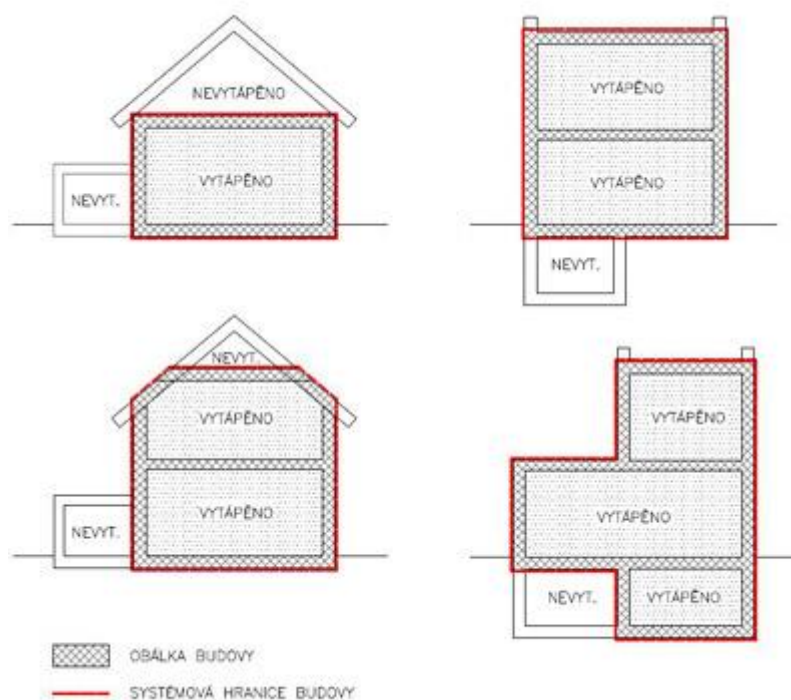
Tabulka 7 – Přehled místností v 2NP. Zdroj: vlastní tvorba.

2. Nadzemní podlaží		
Číslo m.	Název místnosti	Plocha [m ²]
2.01	Schodiště	7,8
2.02	Hala	11
2.03	Dětský pokoj 1	23,4
2.04	Dětský pokoj 2	23,4
2.05	Koupelna	8,1
2.06	WC	1,4
2.07	Pracovna	11,9
2.08	Šatna	6,1
2.09	Ložnice	14,5
Vnitřní užitná plocha		107,6

Celková vnitřní užitná plocha je 249,2 m² (včetně garáže a skladu). Celková energeticky vztažná plocha, která je dána vnější půdorysnou plochou všech prostorů s upravovaným vnitřním prostředím v celé budově a je vymezena vnějšími povrchy konstrukcí obálky budovy, je 240,5 m² (garáž a sklad nemá upravované vnitřní prostředí a uvažuje se jako nevytápěný prostor).

Pro výpočet tepelných ztrát si potřebuji určit hodnoty součinitelů prostupu tepla U [W.m⁻².K⁻¹] jednotlivých konstrukcí oddělující klimatizovaný (vytápěný nebo chlazený) prostor od venkovního prostředí. Prvně si ale určím plochy těchto konstrukcí. Zmíněné konstrukce se označují dle normy ČSN EN ISO 13790, jako systémová hranice budovy viz Obrázek 11.

Obrázek 11 – Systémová hranice budovy. Zdroj: Zelená úsporám - Slovníček pojmů. Zelená úsporám [online]. [cit. 2017-02-11]. Dostupné z: www.zelenausporam.cz/sekce/560/2/slovnicek-pojmu/technicke-termíny/



Systémová hranice budovy je přehledně popsána viz Tabulka 8. Prostory, které spadají do systémové hranice, jsem si označil Z1 neboli zóna 1. V této zóně se nevyskytuje garáž a sklad, kde nedochází k úpravě vnitřního prostředí.

Tabulka 8 – Konstrukce obálky budovy. Zdroj: vlastní tvorba.

Systémová hranice budovy ⁵⁹	
Popis konstrukce	Plocha [m2]
Z1: Okna, plastové, trojsklo, 1NP, S	3
Z1: Dveře, vchodové, trojsklo, plastové, 1NP, S	2,4
Z1: Obvod. Stěna, 400mm+tl.200mm	177
Z1: Skladba krovu RD - zateplený	142,7
Z1: Okna, plastové, trojsklo, 1NP, J	13,2
Z1: Okna, plastové, trojsklo, 1NP, Z	5,2
Z1: Okna, plastové, trojsklo, 2NP, S	7,8
Z1: Okna, plastové, trojsklo, 2NP, V	4,2
Z1: Okna, plastové, trojsklo, 2NP, J	4,7
Z1: Okna, plastové, trojsklo, 2NP, Z	3
Z1: Skladba podlahy, obytl. Část, 1NP	140,8
Z1: Obvod. Stěna, tl.400mm+100mm, vnitřní	30,9
Z1: Dveře RD/garáž	2
Celková plocha obálky budovy, zóna 1	536,9

⁵⁹ Plochy stanoveny dle: HALFAR, Jiří. *Projektová dokumentace: Novostavba rodinného domu*. Ostrava, 2016.

Jako souhrn této kapitoly mohu uvést geometrické charakteristiky budovy, které bývají obsaženy v PENB viz Tabulka 9.

Tabulka 9 – Geometrické charakteristiky budovy. Zdroj: vlastní tvorba.

Geometrické charakteristiky budovy		
Parametr	Hodnota	Jednotka
Objem budovy V	996,4	[m ³]
Celková plocha obálky budovy, Z1	536,9	[m ²]
Objemový faktor tvaru budovy A/V	0,5388	[m ² /m ³]
Celková energeticky vztažná plocha	241	[m ²]

Za povšimnutí zde stojí objemový faktor tvaru budovy, který by měl být z hlediska tepelných ztrát co možno nejnižší. Velikost celkové tepelné ztráty budovy je závislá na celkové ploše ochlazovaných konstrukcí ohraničující objem budovy.

3.2. Výpočet součinitele prostupu tepla

Nyní, při znalosti ploch jednotlivých konstrukcí si potřebuji určit jejich součinitel prostupu tepla. Součinitel prostupu tepla u oken a dveří je uveden výrobcem, uveden viz Tabulka 12 (okna a dveře jsou dodány a instalovány firmou Jurczek). Musím si jej tak vypočítat ještě u obvodových zdí, podlahy a střechy viz Tabulka 10, Tabulka 11. Výpočet je proveden dle postupu popsáno v teoretické části práce v kapitole 2.4.1.

Tabulka 10 – Skladba konstrukcí, výpočet součinitele prostupu tepla. Zdroj: vlastní tvorba. Zdroj: vlastní tvorba.

Konstrukce	Materiál ⁶⁰	d [mm]	λ [W.m-1.K-1]	R_j [m ² .K.W-1]
Z1: Obvod. Stěna, 400mm+200mm	Vnější omítka	11,4	0,8800	0,0130
	Porotherm P+D	400	0,2190	1,8265
	Tepelná izolace EPS	200	0,0510	3,9216
	Vnitřní omítka	11,4	0,1000	0,1140
Z1: Obvod. Stěna, 400mm+100mm	Vnější omítka	11,4	0,8800	0,0130
	Porotherm P+D	400	0,2190	1,8265
	Tepelná izolace EPS	100	0,0510	1,9608
	Vnitřní omítka	11,4	0,8800	0,0130
Z1: Skladba krovu RD - zateplený	Základ OSB	22	0,1800	0,1222
	Tepelná izolace EPS	220	0,0510	4,3137
	Tepelná izolace EPS	80	0,0510	1,5686
	Multifunkční panel PD	12	0,0400	0,3000
Z1: Skladba podlahy, obytl. Část, 1NP	Podkladní beton (keramzit)	150	0,2400	0,6250
	Tepelná izolace EPS	120	0,0510	2,3529

⁶⁰ Jelikož v PD nebyly konkrétně specifikovány jednotlivé využití materiálu (hodnota tepelné vodivosti λ), určil jsem si je pomocí: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/140-prostup-tepla-vicestvrstvou-konstrukci-a-prubeh-teplot-v-konstrukci>.

Tabulka 11 – Součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí. Zdroj: vlastní tvorba.

Konstrukce	R_{th} [m ² .K.W-1]	U [W.m-2.K-1]
Z1: Obvod. Stěna, 400mm+200mm	5,88	0,17
Z1: Obvod. Stěna, 400mm+100mm	3,81	0,25
Z1: Skladba krovu RD - zateplený	6,30	0,16
Z1: Skladba podlahy, obyt. Část, 1NP	2,98	0,31

Zbývá si najít návrhové hodnoty činitelů teplotní redukce b [-], které jsou udány dle normy ČSN 73 0540-3 viz Příloha 5. Takto určené/vypočtené vstupy využiji k určení měrné ztráty prostupem tepla. Samotný výpočet měrné ztráty prostupem tepla, jakožto i výpočty následující, provedu pomocí volně šiřitelného výpočetního nástroje NKN II (Národní kalkulační nástroj II) dostupného na <http://nkn.fsv.cvut.cz/>. Nástroj byl zpracován pro aplikaci metodiky výpočtu ENB a slouží ke zpracování PENB. Hodnocení pomocí NKN II je v souladu s požadavky stanovenými zákonem č. 406/2000 Sb. a metodikou popsanou v teoretické části práce, viz kapitola 2.4.

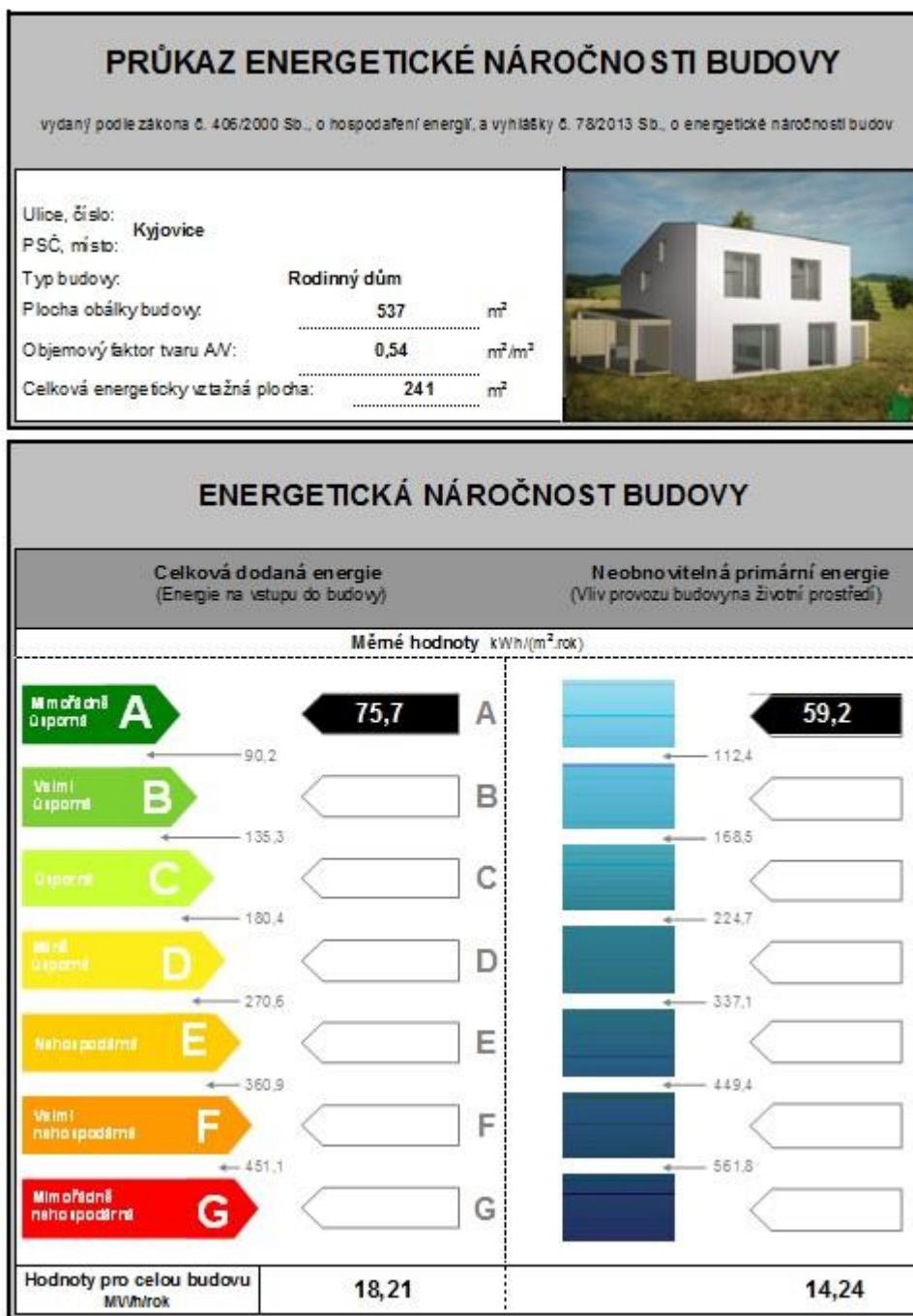
Tabulka 12 – Vstupní hodnoty pro výpočet měrné ztráty prostupem tepla. Zdroj: vlastní tvorba.

Popis konstrukce	Plocha [m ²]	U [W.m-2.K-1]	b _j [-]
Z1: Okna, plastové, trojsklo, 1NP, S	3	0,67	1
Z1: Dveře, vchodové, trojsklo, plastové, 1NP, S	2,4	0,74	1
Z1: Obvod. Stěna, 400mm+TI tl.200mm	177	0,17	1
Z1: Skladba krovu RD - zateplený	142,7	0,16	1
Z1: Okna, plastové, trojsklo, 1NP, J	13,2	0,67	1
Z1: Okna, plastové, trojsklo, 1NP, Z	5,2	0,67	1
Z1: Okna, plastové, trojsklo, 2NP, S	7,8	0,67	1
Z1: Okna, plastové, trojsklo, 2NP, V	4,2	0,67	1
Z1: Okna, plastové, trojsklo, 2NP, J	4,7	0,67	1
Z1: Okna, plastové, trojsklo, 2NP, Z	3	0,67	1
Z1: Skladba podlahy, obyt. Část, 1NP	140,8	0,31	0,66
Z1: Obvod. Stěna, tl.400mm+100mm, vnitřní	30,9	0,25	0,49
Z1: Dveře RD/garáž	2	0,9	0,56
Celkem	536,9	x	x

3.3. Zhodnocení stávajícího stavu








Objekt je posuzován jako jednozónový s vnitřní výpočtovou teplotou 20 °C pro režim vytápění a 22 °C pro režim chlazení. Režimy jsou stanoveny dle klimatických podmínek, které má v sobě NKN II zakomponovány. Venkovní výpočtová teplota je dle polohy objektu -15 °C. Zadáním požadovaných hodnot do NKN II jsem si vytvořil průkaz energetické náročnosti posuzované budovy, viz Obrázek 12.

Obrázek 12 – Průkaz energetické náročnosti budovy. Zdroj: vlastní tvorba pomocí NKN II.



Novostavba rodinného domu byla vyhodnocena jako mimořádně úsporná a zařazena do třídy A. Dílčí ukazatele energetické náročnosti budovy, které dokládám níže, viz Obrázek 13, zohledňují množství dílčí dodané energie. Vidíme, že hodnota energie na chlazení byla vyhodnocena jako mimořádně nevhodná. To není způsobeno nevhodností systému chlazení, nýbrž tím, že dodaná energie na chlazení u referenční budovy byla stanovena výpočetním programem na hodnotu 0 kWh.m⁻².rok⁻¹.

Obrázek 13 – Ukazatele energetické náročnosti budovy. Zdroj: vlastní tvorba pomocí NKN II.

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY							
	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
	U_{em} W/(m ² ·K)	Dílčí dodaná energie			Měrné hodnoty kWh/(m ² ·rok)		
Mimořádná kapacita							
A	0,23	50,1					4,0
B						17,4	
C							
D							
E							
F							
G			4,2				
Mimořádná nahodálná							
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok		12,1	1,0	0,0	0,0	4,2	1,0

Ve všech ostatních případech hodnocená budova obstála v hodnocení na výbornou a splnila kladené požadavky. Vzhledem k výsledkům obsažených v PENB budu porovnávat současný navrhovaný stav budovy s budovou, která splňuje pasivní standard.

Tabulka 13 prozrazuje, kde má současný návrh RD „slabiny“ oproti pasivnímu standardu. Největší slabinou je podlaha, kde hodnota U značně převyšuje doporučenou hodnotu pro pasivní budovy. V projektové dokumentaci je u podlahy navržena tepelná izolace tloušťky 120 mm. Zbylé hodnoty U se vyskytují převážně na horní hranici doporučených hodnot. Nutno podotknout, že případným dodatečným zateplením podlahy dojde k většímu zmenšení potřeby tepla na vytápění než například výměnou dveří s menším U, protože se jedná o mnohem větší plochu. Otázkou ale zůstává, jestli případná úspora energie pokryje investiční náklady. Tuto otázku budu řešit v další části práce v mnou navržených opatřeních, která povedou ke snížení potřeby energie RD.

Tabulka 13 – Porovnání hodnot dle ČSN 0541-2. Upas vs. U hodnocené budovy. Zdroj: vlastní tvorba.

Popis konstrukce	Upas,rec [W.m-2.K-1]	U budova [W.m-2.K-1]
Stěna vnější	0,18-0,12	0,17
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,15-0,10	0,16
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,22-0,15	0,31
Stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,30-0,20	0,25
Dveřní výplň z vytápěného do venkovního prostoru	0,9	0,74 ; 0,9
Výplň otvoru ve vnější stěně	0,8-0,6	0,67

Měrná potřeba dodané energie na vytápění, která vyšla na $50,1 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$, čímž se dle klasifikace řadí mezi energeticky úsporné domy, je jen velmi těsně nad hranicí $50 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ stanovené pro nízkoenergetické domy.

Měrnou potřebu tepla jde u tohoto objektu snížit například zmíněným dodatečným zateplením podlahy⁶¹, zvětšením síly izolace střechy, a protože se zde nabízí možnost využití dotačního programu Nová zelená úsporám pro novostavby rodinných domů, lze uvažovat i o zesílení izolace u obvodových zdí. Nezbytností pro tuto podporu, chybějící v současném návrhu objektu, je instalace systému nuceného větrání se zpětným získáváním tepla. Zde, protože objekt má být dle návrhu větrán přirozeně, je velký potenciál úspory energie. Okenní a dveřní výplně jsou v projektu RD navrženy velice kvalitní, není proto důvod uvažovat z pohledu tepelně-izolačního o jejich výměně.

Vzhledem k tomu, že objekt je ve fázi výstavby, můžeme mnoho věcí ještě ovlivnit (například tloušťku izolace) s předpokladem menších investičních výdajů, než které by vznikly u objektu dostavěného (lešení, práce). Tento fakt proto dále zohledním.

Hodnoty pro měrnou denní ztrátu tepla zásobníku TV a denní měrnou ztrátu rozvodů teplé vody jsem získal z PENB, který byl zpracován a předložen spolu se žádostí o stavební povolení v roce 2016.⁶² Roční spotřebu teplé vody uvažuji $58,4 \text{ m}^3$ odpovídající denní potřebě teplé vody 40 l na osobu dle ČSN EN 15316-3-1. Teplá voda je ohřívána pomocí tepelného čerpadla. Výstupní teplotu teplé vody jsem si určil na 55 °C . Vyšší výstupní teplota teplé vody by znamenala

⁶¹ Lze i zvětšením tloušťky původní izolace, nicméně budu vycházet z původního návrhu objektu.

⁶² Stavební povolení bylo uděleno.

snížení topného faktoru tepelného čerpadla. V datasheetu tepelného čerpadla AquaMaster, viz Příloha 6, je uvedena hodnota topného faktoru 2.9 při B0W50. SCOP (sezonní topný faktor) je při středně teplotním provozu 55 °C určen na hodnotu 3,16 a sezonní energetickou účinností 118 %.⁶³ Tepelné čerpadlo rovněž obsahuje integrované zařízení „Desuperheater“ určené pro efektivní ohřev teplé vody. Je to tepelný výměník odebírající energii na výstupu horkých par z kompresoru a samostatným hydraulickým okruhem ji předávající do zásobníku TUV.

Osvětlení objektu bude realizováno pomocí úsporných zářivek a LED žárovek o celkovém instalovaném příkonu osvětlovací soustavy 345 W. Zde rovněž nevidím potenciál na snížení potřeby energie RD.

3.4. Analýza energetických potřeb

V této kapitole si určím odhadované finanční výdaje na provoz novostavby RD v současném stavu. Výstup mi bude sloužit k porovnání stavu před a po případné realizaci dále navrhovaných opatření. K určení provozních nákladů využiji uvedené výpočty, viz Obrázek 14 a Obrázek 15. Na prvním z těchto obrázků vidíme porovnání hodnocené budovy s referenční budovou⁶⁴. Je důležité si uvědomit, že platíme za spotřebovanou energii, nikoli za potřebu energie. Tyto dvě hodnoty se od sebe liší v závislosti na účinnosti daného systému. Zde se projeví vliv tepelného čerpadla, které je schopno efektivně využít neobnovitelnou primární energii. Míru efektivnosti využití neobnovitelné primární energie zohledňuje sezónní energetická účinnost tepelného čerpadla.⁶⁵

⁶³ AquaMaster-30Z: MasterTherm [online]. Praha: MasterTherm, 2016 [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: <http://www.mastertherm.cz/tepelne-čerpadlo-aquamaster>

⁶⁴ Referenční budova se určuje dle: ČSN 73 0540-2.

⁶⁵ V našem případě je sezónní energetická účinnost T118 %.

Obrázek 14 – Potřeba a spotřeba energie hodnocené a referenční budovy. Zdroj: vlastní tvorba s pomocí NKN II.

ř.			Vytápění		Chlazení		Větrání		Úprava vlhkosti vzduchu		Příprava teple vody		Osvětlení	
			Ref. budova	Hod. budova	Ref. budova	Hod. budova	Ref. budova	Hod. budova	Ref. budova	Hod. budova	Ref. budova	Hod. budova	Ref. budova	Hod. budova
(1)	Potřeba energie	(kWh/rok)	18162	10045	0	2287	-	-	-	-	3051	3051	-	-
(2)	Vypočtená spotřeba energie	(kWh/rok)	33826	11741	0	479	0	0	-	-	6254	3953	2701	966
(3)	Pomocná energie	(kWh/rok)	383	313	0	522	0	0	-	-	237	237	0	0

Rozdělením celkové vypočtené spotřeby energie dle jejího energonositele mi poslouží k vyčíslení finančních výdajů na provoz budovy.

Obrázek 15 – Vypočtená spotřeba energie dle energonositele. Zdroj: vlastní tvorba s pomocí NKN II.

E nergonositel	Díličí vypočtená spotřeba energie/ Pomocná energie	Faktor celkové primární energie	Faktor neobnovitelné primární energie	Celková primární energie	Neobnovitelná primární energie
	(kWh/rok)	(-)	(-)	(kWh/rok)	(kWh/rok)
Zemní plyn	0	1,1	1,1	0	0
Černé uhlí	0	1,1	1,1	0	0
Hnědé uhlí	0	1,1	1,1	0	0
Propan-butan/LPG	0	1,2	1,2	0	0
Topný olej	0	1,2	1,2	0	0
Elektrina	3280	3,2	3	10495	9839
Dřevěné peletky	0	1,2	0,2	0	0
Kusové dřevo, dřevní štěpka	3090	1,1	0,1	3399	309
Energie okolního prostředí (elektrina a teplo)	8860	1	0	8860	0
Elektrina - dodávka mimo budovu	0	-3,2	-3	0	0

Díličí platby budou rozděleny na platbu za elektrickou energii a platbu za kusové dřevo a dřevní štěpku. Roční výdaje za energii z kusového dřeva a dřevní štěpky se určí součinem

množství energie a cenou této energie viz Tabulka 3. Uvažuji-li o výrobě energie zdrojem tepla s účinností 80 % a zároveň využití dřevní štěpky jako paliva, dostanu se k ceně $0,90 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$ respektive $2\,781 \text{ Kč} \cdot \text{rok}^{-1}$. U elektřiny bude situace komplikovanější vzhledem k faktu, že tarif tepelného čerpadla se dělí, jak již bylo uvedeno v teoretické části práce, na nízký a vysoký. Ke spotřebě elektrické energie, viz Obrázek 15, je nutné přičíst spotřebu elektrospotřebičů. U spotřebičů viz Tabulka 1, které nejsou zahrnuty v PENB (osvětlení, TČ, elektrokotel), jsem si po konzultaci s majitelem objektu o energetickém managementu orientačně určil jejich denní provozní dobu a vyčíslil roční spotřebu. Roční spotřeba elektrické energie elektrospotřebičů vyšla $2 \text{ MWh} \cdot \text{rok}^{-1}$. Celková spotřeba elektrické energie se tedy pohybuje okolo $5,3 \text{ MWh} \cdot \text{rok}^{-1}$. K rozdělení spotřeby elektrické energie mezi NT a VT využiji přepočteného typového diagramu dodávky elektřiny pro rok 2016, dostupného na <http://www.ote-cr.cz/>. Konkrétněji TDD7 určeného pro tepelná čerpadla. Dále budu uvažovat VT mezi 9:00-10:00 a 12:00-13:00 a NT ve zbylém čase (22 hodin).⁶⁶

Namodelováním spotřeby dle přepočteného TDD7 pro rok 2016 jsem došel ke spotřebě elektrické energie ve VT $425,14 \text{ kWh}$ a v NT $4874,86 \text{ kWh}$. Tyto hodnoty se samozřejmě budou každým rokem lišit v závislosti na mnoha faktorech (například počasí, využívání objektu, atd.).

Pro samotné vyčíslení výdajů za spotřebu elektrické energie jsem využil kalkulátoru cen energií dostupného na serveru: <http://kalkulator.tzb-info.cz/>. Při volbě sazby, D57d, která je určena pro tepelná čerpadla uvedená do provozu od 1. 4. 2016, mi cena za spotřebu elektrické energie vyšla $17\,635 \text{ Kč} \cdot \text{rok}^{-1}$ (uvažovaný dodavatel ČEZ Prodej, produktová řada Comfort). Zadané vstupy do kalkulátoru příkládám níže, viz Příloha 7. Nenákladovým opatřením může být změna dodavatele, kdy například přechodem ke společnosti Nano Energies Trade produktové řady Dobrý skutek lze dosáhnout úspory $2\,836 \text{ Kč}$ ročně respektive ceny $14\,799 \text{ Kč}$.

Celková výše platby za energie se, dle mnou provedených kalkulací, bude pohybovat okolo $17\,600 \text{ Kč} \cdot \text{rok}^{-1}$.⁶⁷

3.4.1. Souhrn

V této kapitole jsem vyčíslil provozní náklady objektu. RD by v současně navrženém stavu snesl srovnání s nízkoenergetickými domy. Jako přehled této kapitoly lze využít Obrázek 16, kde vidíme energetickou bilanci objektu.

⁶⁶ Určení času je navrženo pro odběr, které využívají pro vytápění TČ dle: http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/cezdistribuce_pasmaplatnostintavt_prubehove_mereni.pdf

⁶⁷ V případě uvažování dodavatele elektrické energie Nano Energies Trade.

Obrázek 16 – Energetická bilance, souhrn. Zdroj: vlastní tvorba pomocí NKN II.

C.1. Energetická bilance na úrovni budovy podle ČSN EN 13790				
	Parametr	jednotky	Hodnocená budova	Referenční budova
režim vytápění				
potřeba energie na vytápění	$Q_{H,nd}$	kWh/rok	10 045	18 162
solární tepelné zisky	$Q_{H,gn,sol}$	kWh/rok	6 094	4 353
vnitřní tepelné zisky	$Q_{gn,int}$	kWh/rok	3 967	5 528
celkové tepelné zisky	$Q_{H,gn}$	kWh/rok	10 061	9 881
celkové množství přeneseného tepla větráním	$Q_{H,v}$	kWh/rok	4 589	4 589
celkové množství přeneseného tepla prostupem	$Q_{H,tr}$	kWh/rok	12 814	22 066
režim chlazení				
potřeba energie na chlazení	$Q_{C,nd}$	kWh/rok	2 287	0
solární tepelné zisky	$Q_{C,gn,sol}$	kWh/rok	6 094	1 082
vnitřní tepelné zisky	$Q_{gn,int}$	kWh/rok	3 967	5 528
celkové tepelné zisky	$Q_{C,gn}$	kWh/rok	10 061	6 609
celkové množství přeneseného tepla větráním	$Q_{C,v}$	kWh/rok	5 386	5 386
celkové množství přeneseného tepla prostupem	$Q_{C,tr}$	kWh/rok	13 091	12 159
dílčí parametry				
průměrný součinitel prostupu tepla	U_{em}	W/m ² .K	0,23	0,40
Tepelná ztráta budovy	Q_C	kW	4,5	

Jak jsem se již zmínil, potenciál úspor vidím hlavně ve změně síly zateplení podlahy (současná tloušťka tepelné izolace 120 mm) a instalaci nuceného větrání s rekuperací. Tato opatření by vedla k podstatnému snížení potřeby energie na vytápění. Za účelem zvýšení energetické nezávislosti objektu by bylo vhodné uvažovat o instalaci malé fotovoltaické elektrárny na střechu nemovitosti.

4. Návrh variant řešení RD z hlediska možnosti žádosti o dotaci

4.1. Varianta 1 a 2 – Malá fotovoltaická elektrárna

Vzhledem k aktuálnímu stavu skladby potřebné energie pro RD (absence plynové přípojky, (nepoužití krbu jako primárního zdroje tepla), je elektrická energie primárním zdrojem. Z tohoto důvodu se v této kapitole zaměřím na snížení energetické závislosti na dodané energii z distribuční soustavy (objekt se od DS neodpojí). Zvýšení energetické nezávislosti objektu lze dosáhnout instalováním malé fotovoltaické elektrárny na střechu nemovitosti. Tímto opatřením by se snížila potřeba elektrické energie odebírané z distribuční sítě. Otázkou ovšem zůstává, jaký výkon fotovoltaické elektrárny zvolit a zda je z ekonomického hlediska instalace výhodná.

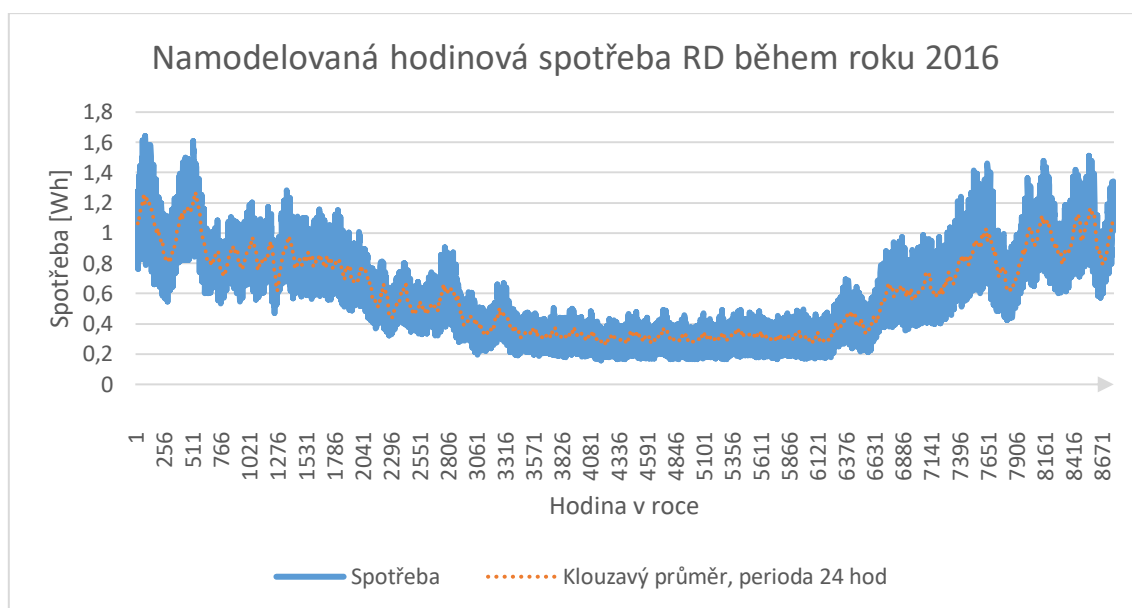
Malá fotovoltaická elektrárna by byla instalována na střechu objektu, konkrétně na střechu nad druhým podlažím, orientovanou směrem na jih. Plocha této části střechy činí 90,7 m² se sklonem 10° (plocha střechy 2NP severní části je 46 m², celkem 142,7 m²). Z důvodu sklonu střechy není možné instalovat trackery.⁶⁸ Proto navrhuji pevný sklon a stálou orientaci panelů. Poloha objektu je z pohledu instalace fotovoltaického systému ideální, dopadu slunečního záření nebrání okolní budovy, ani stromy.

V této kapitole se zaměřím na popis instalace dvou základních typů systému: systém bez akumulace elektrické energie a systém s akumulací elektrické energie. Při ekonomickém hodnocení je nutné brát v potaz nízké výkupní ceny elektrické energie pohybující se v rozmezí 0,30-0,60 Kč/kWh. Vzhledem k této situaci neuvažuji instalaci fotovoltaického systému za účelem podnikání (prodeje elektrické energie), ale především jako zdroj pro vlastní spotřebu za účelem dosažení úspor.

Roční spotřebu elektrické energie mám již vypočtenou z předcházející kapitoly a také namodelované rozložení této spotřeby v průběhu roku viz Obrázek 17.

⁶⁸ Tracker je pohyblivá konstrukce, která se natáčí tak, aby sluneční záření dopadalo na panely kolmo.

Obrázek 17 – Spotřeba elektrické energie v průběhu roku dle TDD7. Zdroj: vlastní tvorba.



Roční spotřeba elektrické energie se dle mého výpočtu bude pohybovat okolo 5 300 kWh. Nyní musím vyřešit ideální počet panelů a jejich instalovaný výkon.⁶⁹

V následných výpočtech využiji, jako podkladu, nabídku zpracovanou firmou Nano Energies, viz Tabulka 14. Poté uvedu informace týkající se tohoto systému a jeho specifik nutných pro výpočet ekonomické efektivity.

Tabulka 14 – FVE od Nano Energies. Zdroj: vlastní tvorba.

Nabídka od společnosti Nano Energies				
Kurz [Kč/EUR]	27,02 Kč ⁷⁰			
	Jednotková cena [EUR]	Počet [ks]	Cena [EUR]	Cena [Kč]
Panel Sunpower 327 W	358,065 EUR	9	3 222,59 EUR	87 074,25 Kč
SolarEdge střídač 3FSE5K	1 018,410 EUR	1	1 018,41 EUR	27 517,44 Kč
EDGE Power optimalizátor	43,000 EUR	9	387,00 EUR	10 456,74 Kč
Wattrouter	246,000 EUR	1	246,00 EUR	6 646,92 Kč
Baterie Sonnen	4 900,000 EUR	1	4 900,00 EUR	132 398,00 Kč
Konstrukce	579,370 EUR	1	579,37 EUR	15 654,58 Kč
Kabeláž, rozvaděče NN, ochrany	570,660 EUR	1	570,66 EUR	15 419,23 Kč
PD, revize	553,500 EUR	1	553,50 EUR	14 955,57 Kč
Instalovaný výkon [kWp]	2,943			
Investice s akumulací	x	x	11 477,53 EUR	310 122,73 Kč
Investice bez akumulace	x	x	6 577,53 EUR	177 724,73 Kč

⁶⁹ Není problém nainstalovat systém, který by pokryl celou plochu střechy a velkou část spotřeby elektrické energie v objektu, ale z ekonomického hlediska by to v současné době nebylo racionální.

⁷⁰ Kurz k 11. 3. 2017 dle <http://www.cnb.cz/cs/index.html>.

Na monokrystalický fotovoltaický panel Sunpower o výkonu 327 Wp, s účinností 20,4 % a cenou 358,065 EUR. ks⁻¹ se vztahuje záruka 25 let.⁷¹ Fotovoltaický střídač s minimální ztrátou přeměňuje stejnosměrný proud vyrobený v panelech na střídavý. Tyto střídače jsou ale poměrně drahé. Často se využívají také hybridní měniče, které umí pracovat v ostrovním i síťovém provozu. Důležitou roli hraje maximální vstupní výkon z panelů. V nabídce je třífázový SolarEdge SE5K s cenou 1 018,410 EUR. ks⁻¹, jehož maximální vstupní výkon je 6 250 W a který je schopen pracovat v ostrovním i síťovém provozu. Jedná se o kvalitní výrobek, na který se vztahuje záruka až 25 let, přičemž tento střídač může dynamicky upravovat výrobu fotovoltaické elektrárny tak, aby nebyl překročen zvolený limit.⁷² Akumulační jednotka by se měla volit s ohledem na její životnost a využitelnou kapacitu. Jako výchozí variantu jsem z důvodu vysoké pořizovací ceny nezvolil baterii Sonnen, ale baterii od společnosti BYD, typu článků LiFePO₄, s kapacitou 2,4 kWh, udávaným počtem cyklů > 6 000 cyklů a cenou 50 700 Kč. ks⁻¹. Investice do baterie/baterií se bude muset vzhledem k očekávané době životnosti přibližně po 12,5 letech opakovat. Vzhledem k předpokládatelnému vývoji v oblasti baterií ji ovšem ocením poloviční hodnotou.⁷³ Pro optimalizaci vlastní spotřeby budu rovněž uvažovat instalaci programovatelného Wattrouteru M SSR za 246 EUR. ks⁻¹.⁷⁴ Mezi další nutné výdaje řadím konstrukce, kabeláž DC/AC, SolarEdge výkonové optimalizéry P350, rozvaděče NN, síťové ochrany, projektovou dokumentaci a revize.

V prvotní kalkulaci využiji následujících zjednodušujících předpokladů:

- ✓ Žádné další výdaje spojené s instalací FVE (např. pojištění systému, úprava střechy – statické vlastnosti, provozní náklady a náklady na případné poruchy).
- ✓ Ideální stav systému po celou dobu životnosti (deklarovaná prvotní účinnost).
- ✓ Cena za kabeláž, rozvaděče NN, ochrany a konstrukci se bude měnit lineárně v závislosti na instalovaném výkonu.
- ✓ Financování projektu bude provedeno z naspořených finančních prostředků majitele.
- ✓ V případě, že NPV vyjde nezáporné, budu tyto předpoklady postupně eliminovat až k reálným podmínkám (postupná degradace systému, pojištění systému atd.).

⁷¹ SunPower: MODEL: E20-327 [online]. web: Sunpower, 2015 [cit. 2016-10-30]. Dostupné z: <https://us.sunpower.com/sites/sunpower/files/media-library/data-sheets/e-series-home-solar-panels-comparison.pdf>

⁷² SolarEdge třífázové střídače [online]. Praha: Solar Edge, 2016 [cit. 2016-11-07]. Dostupné z: <http://www.solaredge.com/sites/default/files/se-three-phase-inverter-datasheet-cz.pdf>

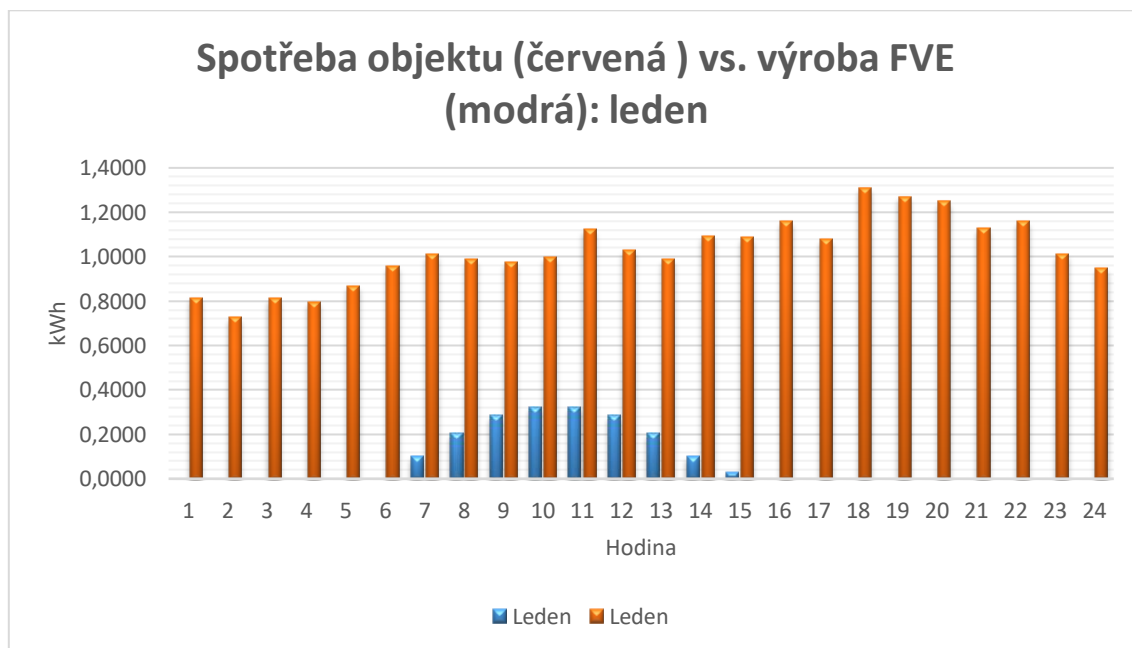
⁷³ BYD B-PLUS 2.5 kW [online]. Praha: prosolar, 2016 [cit. 2016-11-10]. Dostupné z: <http://www.prosolar.net/cenik.php>

⁷⁴ WATTR OUTER M SSR [online]. web: SolarControls, 2015 [cit. 2016-10-30]. Dostupné z: http://www.solarcontrols.cz/cz/wattrouter_m_ssr.html

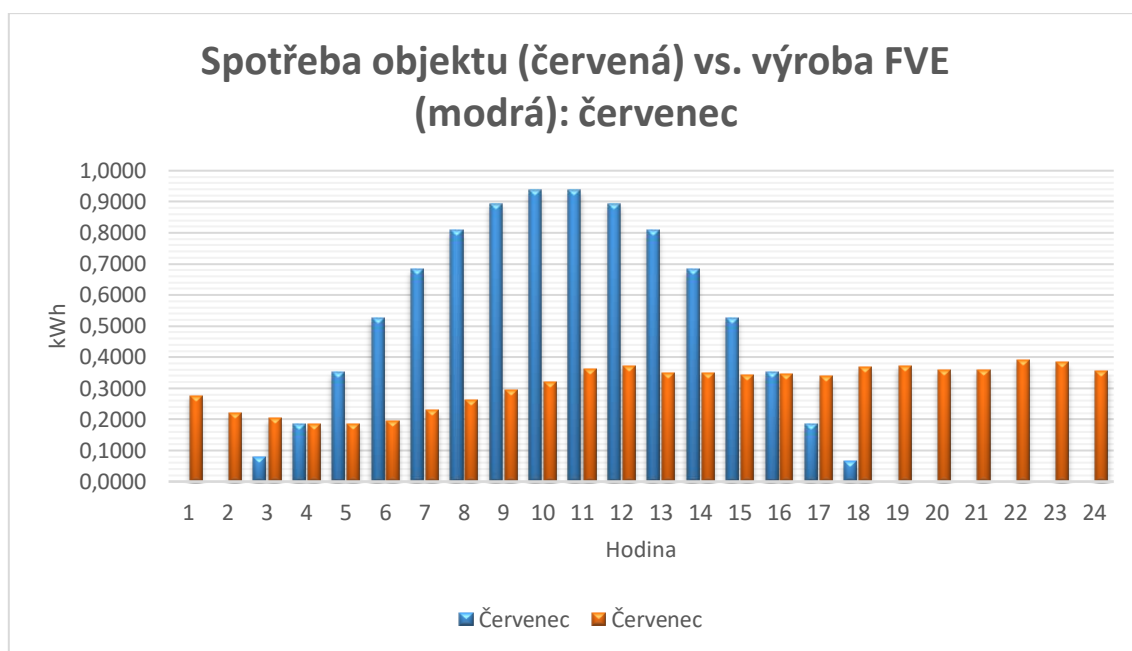
K namodelování výroby elektrické energie systému popsaného výše pro danou lokalitu jsem využil volně dostupného softwaru PVGIS dostupného na portálu: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe>. Jako výchozí hodnotu Instalovaného výkonu jsem vzhledem k dalším výpočtům a optimalizaci zvolil 1 kWp. Hodnoty, které uvádím, viz Příloha 8, se rovnají průměrné denní výrobě elektrické energie FV systémem pro daný měsíc. Nyní můžu tyto průměrné hodnoty výroby elektrické energie porovnávat s namodelovanou spotřebou elektrické energie.

Z namodelované spotřeby elektrické energie, viz Obrázek 17, lze vidět trend vyšší spotřeby elektrické energie především v zimních měsících, přičemž výroba elektrické energie FV systémem je největší především v letních měsících. Pro přehlednost porovnání výroby a spotřeby elektrické energie lze využít grafů. Pro prezentaci výstupu jsem zde vybral dva, a to leden (reprezentující zimní měsíce) a červenec (reprezentující letní měsíce), viz Obrázek 18 a Obrázek 19. Zbylé grafy příkládám, viz Příloha 11.

Obrázek 18 – Spotřeba vs. Výroba: leden. Zdroj: vlastní tvorba.



Obrázek 19 – Spotřeba vs. Výroba: červenec. Zdroj: vlastní tvorba.



Pro systém bez akumulace elektrické energie do baterií využiji dalšího předpokladu, že přebytky z FVE lze akumulovat do teplé vody bez dalších nutných výdajů (předpoklad akumulačního zásobníku teplé vody) a roční využitelnosti přebytků energie 700 kWh. Tato hodnota byla zvolena s ohledem pro výpočet optimálního počtu FV panelů. Přebytky budou využity k ohřátí teplé vody z 55 °C na 65 °C pro účely termické dezinfekce (např. při objemu zásobníku teplé vody 190 litrů a výkonu FVE 2,3 kW by se voda ohřívala 58 min, viz Příloha 9). Tento předpoklad je v souladu s podmínkami stanových dotačním programem Nová zelená úsporám. Mezi další podmínky pro systém bez akumulace elektrické energie v podoblasti podpory C.3.4 patří celkový využitelný energetický zisk $1700 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$ s využitím minimálně 70 % této energie v budově.⁷⁵

S využitím výše uvedených předpokladů jsem vytvořil citlivostní analýzu, viz Tabulka 15. Mezi vstupní hodnoty, v této tabulce konstantní, patří: $r = 1,25 \%$, $T_{\frac{1}{2}} = 25$ let. Mezi vstupní hodnoty, proměnné v této citlivostní analýze, patří meziroční růst cen (první sloupec) a počet panelů (první řádek). Hodnoty byly zvoleny vzhledem ke složitosti predikce cen elektrické energie v závislosti na počtu panelů. Výslednou hodnotou je NPV.

⁷⁵ Nová zelená úsporám [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2015 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/rodinne-domy/3-vyzva-rodinne-domy/podminky-oblasti-podpory-c-3-vyzva/>

Tabulka 15 – Citlivostní analýza FVE bez akumulace do baterie: NPV v závislosti na meziročním tempu růstu cen a počtu panelů. Zdroj: vlastní tvorba.

↓ g_t / k_s →	5	6	7	8	9	10	11
1,00%	-106 837 Kč	-116 088 Kč	-70 136 Kč	-80 179 Kč	-91 113 Kč	-101 968 Kč	-112 778 Kč
1,50%	-105 927 Kč	-114 844 Kč	-68 544 Kč	-78 306 Kč	-89 018 Kč	-99 644 Kč	-110 224 Kč
2,00%	-104 941 Kč	-113 497 Kč	-66 821 Kč	-76 278 Kč	-86 749 Kč	-97 129 Kč	-107 459 Kč
2,50%	-103 874 Kč	-112 038 Kč	-64 954 Kč	-74 081 Kč	-84 292 Kč	-94 405 Kč	-104 465 Kč
3,00%	-102 718 Kč	-110 458 Kč	-62 932 Kč	-71 702 Kč	-81 630 Kč	-91 454 Kč	-101 220 Kč
3,50%	-101 465 Kč	-108 745 Kč	-60 741 Kč	-69 123 Kč	-78 744 Kč	-88 255 Kč	-97 704 Kč
4,00%	-100 106 Kč	-106 887 Kč	-58 364 Kč	-66 326 Kč	-75 615 Kč	-84 786 Kč	-93 891 Kč
4,50%	-98 632 Kč	-104 872 Kč	-55 786 Kč	-63 292 Kč	-72 221 Kč	-81 023 Kč	-89 754 Kč
5,00%	-97 032 Kč	-102 685 Kč	-52 989 Kč	-60 000 Kč	-68 539 Kč	-76 940 Kč	-85 266 Kč
5,50%	-95 296 Kč	-100 312 Kč	-49 953 Kč	-56 427 Kč	-64 541 Kč	-72 508 Kč	-80 394 Kč
6,00%	-93 410 Kč	-97 735 Kč	-46 656 Kč	-52 547 Kč	-60 200 Kč	-67 696 Kč	-75 104 Kč
6,50%	-91 363 Kč	-94 936 Kč	-43 075 Kč	-48 333 Kč	-55 486 Kč	-62 469 Kč	-69 359 Kč
7,00%	-89 138 Kč	-91 895 Kč	-39 185 Kč	-43 755 Kč	-50 364 Kč	-56 791 Kč	-63 117 Kč
7,50%	-86 721 Kč	-88 591 Kč	-34 957 Kč	-38 780 Kč	-44 798 Kč	-50 620 Kč	-56 334 Kč
8,00%	-84 093 Kč	-84 999 Kč	-30 363 Kč	-33 372 Kč	-38 749 Kč	-43 913 Kč	-48 961 Kč
8,50%	-81 237 Kč	-81 094 Kč	-25 367 Kč	-27 494 Kč	-32 172 Kč	-36 622 Kč	-40 946 Kč
9,00%	-78 131 Kč	-76 849 Kč	-19 936 Kč	-21 102 Kč	-25 021 Kč	-28 694 Kč	-32 231 Kč
9,50%	-74 753 Kč	-72 232 Kč	-14 029 Kč	-14 150 Kč	-17 245 Kč	-20 072 Kč	-22 753 Kč
10,00%	-71 079 Kč	-67 209 Kč	-7 604 Kč	-6 589 Kč	-8 786 Kč	-10 694 Kč	-12 444 Kč

Z citlivostní analýzy je vidět vliv přiznání dotace při splnění nutných podmínek ve výši 50 000 Kč, kterých se dosáhne při instalaci 7 FV panelů neboli $P_{inst} = 2,29$ kWp. Náklady na celý FV systém jsou přibližně 149 000 Kč před započtením dotace (investice vlastníka 94 000 Kč). I přes zjednodušující předpoklady (které by NPV ještě více posunuly do záporných hodnot) lze – již nyní konstatovat, že pro danou lokalitu se tento systém nevyplatí instalovat. Vzhledem k tomu, že objekt má největší spotřebu v NT, jsem si vynesl závislost ceny této energie na NPV. Cena v NT by musela být aktuálně pro 7 panelů minimálně $4,35 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$, aby se investice ekonomicky vyplatila (současná cena $1,11 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$)⁷⁶. Dále jsem si zobrazil závislost efektivnosti investice na výkupní ceně energie. Tento výpočet jsem provedl, jak je zmíněno výše, za předpokladu, že cílem je snížení odběru elektrické energie z DS a ne za účelem podnikání, proto je vidět u citlivostní analýzy projevení zvýšených výkupních cen až u většího počtu panelů, kdy přebytky překročily nastavenou roční využitelnou hodnotu 700 kWh a jsou prodávány do distribuční soustavy. Naopak ale rovněž platí, že pokud se nespotřebuje 70 % vyrobené energie v domě, s dotací nelze počítat. S vyšší výkupní cenou (např. pro $4 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$) by se vyplatilo nastavení výpočtu poupravit a nastavit jej primárně na prodej vyrobené elektrické energie. Poté by platilo, čím více panelů, tím větší potenciální užitek⁷⁷. Citlivostní analýzy příkládám v příloženém souboru: TDD2016_RD_a_FVE.

⁷⁶ Ceny NT včetně DPH. Současná cena dle ceníku Nano Energies Trade.

⁷⁷ Toto tvrzení má ale své omezení, jelikož se projeví nutnost koupě dalšího střídače při určitém počtu panelů atd.

U FV systému s akumulací elektrické energie do baterie budu pracovat, kromě jedné změny, se stejnými předpoklady, jako v předešlém případě s jednou změnou. V případě instalace systému s baterií budu předpokládat využití veškeré vyrobené energie v objektu (počet baterií se mění dle požadavků NZÚ na minimální měrnou kapacitu akumulátorů: 1,75 ku 1,25 [kWh.kWp⁻¹].⁷⁸

V tomto případě je situace složitější, protože dotační program NZÚ má vypsaný dvě podporované podoblasti, které se liší celkovým využitelným energetickým ziskem (1 700 kWh.rok⁻¹ resp. 3 000 kWh.rok⁻¹) a výší dotace (70 000 Kč resp. 100 000 Kč). Proto začnu nejprve s citlivostní analýzou. Jako v předešlém případě jsem zvolil k prezentaci závislost počtu panelů a meziročního tempa růstu na celkový ekonomický efekt investice.

Tabulka 16 – Citlivostní analýza FVE s akumulací do baterie: NPV v závislosti na meziročním tempu růstu cen a počtu panelů. Zdroj: vlastní tvorba.

↓ g _t /ks →	5	6	7	8	9	10	11
1,00%	-250 314 Kč	-260 125 Kč	-199 675 Kč	-208 763 Kč	-289 787 Kč	-298 231 Kč	-276 594 Kč
1,50%	-249 333 Kč	-258 847 Kč	-198 083 Kč	-206 826 Kč	-287 483 Kč	-295 540 Kč	-273 510 Kč
2,00%	-248 272 Kč	-257 464 Kč	-196 360 Kč	-204 730 Kč	-284 990 Kč	-292 626 Kč	-270 171 Kč
2,50%	-247 122 Kč	-255 966 Kč	-194 494 Kč	-202 459 Kč	-282 289 Kč	-289 471 Kč	-266 555 Kč
3,00%	-245 876 Kč	-254 343 Kč	-192 472 Kč	-199 999 Kč	-279 363 Kč	-286 053 Kč	-262 638 Kč
3,50%	-244 526 Kč	-252 584 Kč	-190 280 Kč	-197 333 Kč	-276 191 Kč	-282 348 Kč	-258 391 Kč
4,00%	-243 062 Kč	-250 677 Kč	-187 904 Kč	-194 442 Kč	-272 752 Kč	-278 330 Kč	-253 787 Kč
4,50%	-241 474 Kč	-248 608 Kč	-185 326 Kč	-191 305 Kč	-269 022 Kč	-273 972 Kč	-248 793 Kč
5,00%	-239 750 Kč	-246 363 Kč	-182 528 Kč	-187 902 Kč	-264 973 Kč	-269 243 Kč	-243 373 Kč
5,50%	-237 880 Kč	-243 926 Kč	-179 492 Kč	-184 208 Kč	-260 579 Kč	-264 109 Kč	-237 490 Kč
6,00%	-235 849 Kč	-241 279 Kč	-176 195 Kč	-180 197 Kč	-255 808 Kč	-258 536 Kč	-231 102 Kč
6,50%	-233 642 Kč	-238 405 Kč	-172 614 Kč	-175 840 Kč	-250 626 Kč	-252 482 Kč	-224 165 Kč
7,00%	-231 246 Kč	-235 283 Kč	-168 724 Kč	-171 107 Kč	-244 996 Kč	-245 905 Kč	-216 628 Kč
7,50%	-228 641 Kč	-231 890 Kč	-164 497 Kč	-165 964 Kč	-238 879 Kč	-238 758 Kč	-208 437 Kč
8,00%	-225 811 Kč	-228 202 Kč	-159 902 Kč	-160 374 Kč	-232 229 Kč	-230 990 Kč	-199 535 Kč
8,50%	-222 733 Kč	-224 193 Kč	-154 907 Kč	-154 297 Kč	-225 001 Kč	-222 545 Kč	-189 857 Kč
9,00%	-219 387 Kč	-219 833 Kč	-149 475 Kč	-147 689 Kč	-217 140 Kč	-213 363 Kč	-179 334 Kč
9,50%	-215 748 Kč	-215 093 Kč	-143 568 Kč	-140 502 Kč	-208 592 Kč	-203 376 Kč	-167 889 Kč
10,00%	-211 790 Kč	-209 936 Kč	-137 144 Kč	-132 686 Kč	-199 295 Kč	-192 514 Kč	-155 442 Kč

Z provedené citlivostní analýzy je zřejmé, že pro výchozí variantu (diskont 1,25 % a meziroční tempo růstu 3 %) opět vychází nejlépe varianta se 7 panely. Oproti systému bez akumulace přebytků energie do baterie je zde vidět ještě jeden „skok“ hodnoty NPV, který nastane právě při splnění podmínek pro přiznání dotace z NZÚ. Přiznání dotace v podoblasti C.3.5 ve výši 70 000 Kč nastane při instalaci 7 panelů a v podoblasti C.3.6 ve výši 100 000 Kč při instalaci 11 panelů. Nicméně lze z analýzy vyčíst, že ani při předpokladu využití veškerých přebytků v objektu a zjednodušujících předpokladů vedoucích k mírnému zlepšení ekonomického hodnocení se ani

⁷⁸ Využití přebytků elektrické energie: akumulace do teplé vody a do akumulátorů.

tato investice z ekonomického hlediska nevyplatí. Zejména z důvodu vysokých pořizovacích nákladů v porovnání s cenou elektrické energie. Počáteční investici pro 7 FV panelů lze vidět níže, viz Příloha 12. V příloženém souboru TDD2016_RD_a_FVE lze vidět další citlivostní analýzy zobrazující závislost NPV investice vždy v závislosti na počtu instalovaných panelů a postupně na ceně elektrické energie v NT, ceně baterie a diskontu. Dílčí závěry jsou obdobné jako u systému bez akumulace energie do baterie, přičemž navíc samotná baterie je v současnosti velice nákladná a po přibližně 12 letech se bude muset investice vzhledem ke své životnosti opakovat.

4.2. Varianta 3 – Rekuperace

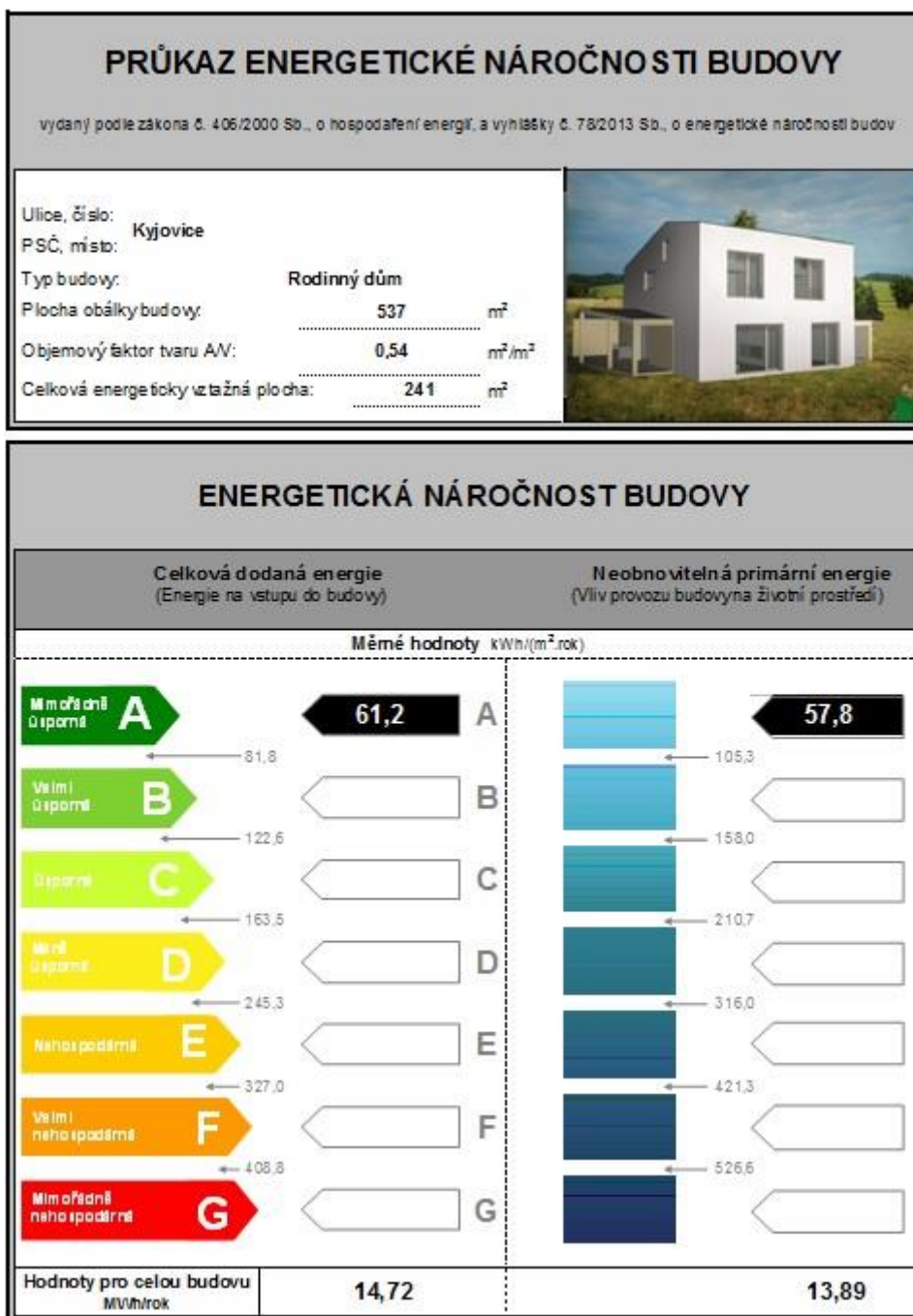
Jak jsem již zmínil v teoretické části práce, u moderních rodinných domů je systém nuceného větrání takřka nezbytný. Nezbytný hlavně ze zdravotního pohledu, protože současně využívané materiály jsou již natolik izolačně kvalitní (vzduchotěsné), že nebývá dosaženo požadované cirkulace vzduchu v místnostech (přísun čerstvého vzduchu $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na osobu).

V dalších výpočtech budu kalkulovat s nabídkou od švýcarského koncernu Zehnder. Po konzultacích a na základě následně vypracované nabídky společností Zehnder jsem zvolil centrální jednotku „ComfoD 350 ($370 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)“ určenou pro rodinné domy. Tato jednotka je vybavena výkonnými EC (electronic communication) ventilátory mající uváděnou spotřebu elektrické energie $0,29 \text{ Wh} \cdot \text{m}^{-3}$. Vysokou účinnost rekuperace (až 95 %) zde zajišťuje křížový protiproudý výměník tepla. Ve zpracované nabídce se rovněž vyskytuje entalpický výměník, který pomáhá optimalizovat vlhkost v RD a bez nutnosti elektrického přehřevu pracuje až do venkovní teploty -12°C . Celková cena systému byla vyčíslena na 141 358 Kč. Společnost Zehnder je držitelem certifikace Nová Zelená Úsporám, což velmi usnadní případnou žádost o dotaci.⁷⁹ Dotace, vztahující se na systémy nuceného větrání se zpětným získáváním tepla (podoblast podpory C.4.1), může dosáhnout až 100 000 Kč (maximálně však 75 % způsobilých výdajů). Ve svých výpočtech nebudu uvažovat s maximální účinností rekuperace, nýbrž s hodnotou 84 % uváděnou v certifikovaném měření viz Příloha 13.

K vyčíslení úspory opět využiji NKN II. Po zadání parametrů do tohoto kalkulačního nástroje je zřejmé znatelné snížení celkové dodané energie do budovy, viz Obrázek 20 a Obrázek 21.








⁷⁹ Více viz: <http://registrace.novazelenausporam.cz/vyhledavani/vyroby-vyrobce/1998/zehnder-group-czech-republic/>

Obrázek 20 – PENB RD s rekuperací. Zdroj: vlastní tvorba s pomocí NKN II.



V PENB došlo ke snížení měrné celkové dodané energie do budovy o $14,5 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ a u měrné neobnovitelné primární energie o $1,4 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$. Celková dodaná energie pro celou budovu pak klesla na hodnotu $14,7 \text{ MWh} \cdot \text{rok}^{-1}$ oproti předchozím $18,2 \text{ MWh} \cdot \text{rok}^{-1}$, což činí pokles o $3,5 \text{ MWh} \cdot \text{rok}^{-1}$.

Obrázek 21 – Ukazatele energetické náročnosti RD s rekuperací. Zdroj: vlastní tvorba s pomocí NKN II.

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY							
	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
	U_{em} W/(m ² .K)	Dílčí dodaná energie			Měrné hodnoty kWh/(m ² .rok)		
Mimořádně šetrná							
A	0,23	34,1					4,0
B				1,5		17,4	
C							
D							
E							
F							
G			4,2				
Mimořádně nevhodná							
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok		8,2	1,0	0,4	0,0	4,2	1,0

Rozborem dílčích ukazatelů zjistíme, že ke snížení celkové hodnoty dodané energie došlo, předpokladatelně, pouze u vytápění. Pokles hodnoty měrné dodané energie na vytápění oproti předchozímu stavu činí $16 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ respektive pro celou budovu $3,9 \text{ MWh} \cdot \text{rok}^{-1}$. Ve výsledném hodnocení pak přibyla měrná hodnota dodané energie pro účely větrání.⁸⁰

K vyčíslení úspory je nutné dodanou energii do RD rozložit dle jednotlivých energonositelů. Toto rozložení je prezentováno níže, viz Obrázek 22.

⁸⁰ Rozdíl 0,1 MWh hodnot pro celou budovu mezi Obrázky 20 a 21 je způsoben zaokrouhlováním nastaveného v programu NKN II.

Obrázek 22 – Rozložení spotřeby RD s rekuperací dle energonositele. Zdroj: vlastní tvorba s pomocí NKN II.

E nergonositel	Dílčí vypočtená spotřeba energie/ Pomocná energie	Faktor celkové primární energie	Faktor neobnovitelné primární energie	Celková primární energie	Neobnovitelná primární energie
	(kWh/rok)	(-)	(-)	(kWh/rok)	(kWh/rok)
Zemní plyn	0	1,1	1,1	0	0
Černé uhlí	0	1,1	1,1	0	0
Hnědé uhlí	0	1,1	1,1	0	0
Propan-butan/LPG	0	1,2	1,2	0	0
Topný olej	0	1,2	1,2	0	0
Elektřina	3199	3,2	3	10236	9596
Dřevěné peletky	0	1,2	0,2	0	0
Kusové dřevo, dřevní štěpka	2087	1,1	0,1	2295	209
Energie okolního prostředí (elektřina a teplo)	6824	1	0	6824	0
Elektřina - dodávka mimo budovu	0	-3,2	-3	0	0

Z rozložení spotřeby lze zjistit, že spotřeba elektrické energie oproti předchozímu stavu klesla o 81 kWh. rok⁻¹ a spotřeba energie z dřevní štěpky o 1003 kWh. rok⁻¹. Po namodelování spotřeby elektrické energie (VT: 417,12 kWh a NT 4 782,88 kWh)⁸¹ a zadání údajů do kalkulátorů cen energií mi vyšla cena, která bude přibližně 14 598 Kč. rok⁻¹. Oproti předchozímu stavu 14 799 Kč se jedná o úsporu 201 Kč. rok⁻¹. V případě dřevní štěpky se bude jednat o ještě větší úsporu, ročně majitel zaplatí dle mých propočtů 1 878 Kč. Oproti předchozímu stavu 2781 Kč se jedná o úsporu 903 Kč. rok⁻¹. Instalací rekuperačního systému tak dojde k celkové úspoře pohybující se okolo 1 100 Kč. rok⁻¹.

Podstatnou výhodou rekuperačních systémů je v současné době fakt, že se na ně vztahuje dotační program Nová zelená úsporám. Tato skutečnost se projeví v ekonomickém hodnocení. Stejně jako v předchozím případě uvažuji čerpání finančních prostředků na pokrytí investice z úspor majitele objektu. Vstupní parametry pro ekonomické hodnocení lze vidět níže, viz Tabulka 17.

Tabulka 17 – Vstupní údaje pro ekonomické hodnocení, rekuperace. Zdroj: vlastní tvorba.

Investice celková	141 358 Kč
Úspora	1 100 Kč
Maximální výše dotace	100 000 Kč
Dotace pro RD	100 000 Kč
Investice vlastníka	41 358 Kč

⁸¹ Včetně elektrospotřebičů (2 MWh).

Pro navržený systém od společnosti Zehnder by šla využít maximální výše dotace, tedy 100 000 Kč. Investice majitele RD by pak po odečtení dotace byla 41 358 Kč. Při ekonomickém hodnocení budu předpokládat dobu životnosti 25 let, diskont ve výši 1,25 %, růst cen energií 3 % a roční provozní náklady na údržbu systému 300 Kč (např. filtry, předpokládám postupné meziroční navyšování této ceny o 3 %). Z výsledků, viz Tabulka 18, je vidět, že pro výchozí vstupní údaje vyšlo NPV -16 176 Kč. Protože růst cen energií, v našem případě elektrické energie a cenu dřevní štěpky, nelze přesně predikovat a rozhodně nebude mít stálý trend, připravil jsem a prezentuji následující citlivostní analýzu.

Tabulka 18 – Citlivostní analýza pro rekuperační systém: NPV v závislosti na meziročním tempu růstu cen a prvotní investici. Zdroj: vlastní tvorba.

↓ Inv./g _t →	1,00%	2,00%	3,00%	4,00%	5,00%	6,00%
141 358 Kč	-21 987 Kč	-19 313 Kč	-16 176 Kč	-12 491 Kč	-8 154 Kč	-3 045 Kč
140 358 Kč	-20 987 Kč	-18 313 Kč	-15 176 Kč	-11 491 Kč	-7 154 Kč	-2 045 Kč
139 358 Kč	-19 987 Kč	-17 313 Kč	-14 176 Kč	-10 491 Kč	-6 154 Kč	-1 045 Kč
138 358 Kč	-18 987 Kč	-16 313 Kč	-13 176 Kč	-9 491 Kč	-5 154 Kč	-45 Kč
137 358 Kč	-17 987 Kč	-15 313 Kč	-12 176 Kč	-8 491 Kč	-4 154 Kč	955 Kč
136 358 Kč	-16 987 Kč	-14 313 Kč	-11 176 Kč	-7 491 Kč	-3 154 Kč	1 955 Kč
135 358 Kč	-15 987 Kč	-13 313 Kč	-10 176 Kč	-6 491 Kč	-2 154 Kč	2 955 Kč
134 358 Kč	-14 987 Kč	-12 313 Kč	-9 176 Kč	-5 491 Kč	-1 154 Kč	3 955 Kč
133 358 Kč	-13 987 Kč	-11 313 Kč	-8 176 Kč	-4 491 Kč	-154 Kč	4 955 Kč
132 358 Kč	-13 719 Kč	-11 044 Kč	-7 908 Kč	-4 222 Kč	114 Kč	5 224 Kč
131 358 Kč	-13 469 Kč	-10 794 Kč	-7 658 Kč	-3 972 Kč	364 Kč	5 474 Kč
130 358 Kč	-13 219 Kč	-10 544 Kč	-7 408 Kč	-3 722 Kč	614 Kč	5 724 Kč
129 358 Kč	-12 969 Kč	-10 294 Kč	-7 158 Kč	-3 472 Kč	864 Kč	5 974 Kč
128 358 Kč	-12 719 Kč	-10 044 Kč	-6 908 Kč	-3 222 Kč	1 114 Kč	6 224 Kč
127 358 Kč	-12 469 Kč	-9 794 Kč	-6 658 Kč	-2 972 Kč	1 364 Kč	6 474 Kč
126 358 Kč	-12 219 Kč	-9 544 Kč	-6 408 Kč	-2 722 Kč	1 614 Kč	6 724 Kč
125 358 Kč	-11 969 Kč	-9 294 Kč	-6 158 Kč	-2 472 Kč	1 864 Kč	6 974 Kč
124 358 Kč	-11 719 Kč	-9 044 Kč	-5 908 Kč	-2 222 Kč	2 114 Kč	7 224 Kč
123 358 Kč	-11 469 Kč	-8 794 Kč	-5 658 Kč	-1 972 Kč	2 364 Kč	7 474 Kč
122 358 Kč	-11 219 Kč	-8 544 Kč	-5 408 Kč	-1 722 Kč	2 614 Kč	7 724 Kč
121 358 Kč	-10 969 Kč	-8 294 Kč	-5 158 Kč	-1 472 Kč	2 864 Kč	7 974 Kč

Při vyšším meziročním růstu cen energií se zvýší úspora, kterou majitel rekuperačního systému získá a ekonomické hodnocení bude příznivější. Nicméně při zvolených předpokladech se čistě z ekonomického hlediska rekuperace nevyplatí instalovat, jelikož NPV vyšlo záporné. Přesto bych instalaci doporučil k realizaci ze zdravotních důvodů, viz kapitola 2.3.4. Z předešlých porovnání RD před a po instalaci rekuperace vyplynulo, že ušetřená elektrická energie na vytápění RD se převážně opětovně spotřebuje provozem rekuperačního systému a úspora elektrické energie bude minimální. V případě vytápění budovy na vyšší teplotu by ale došlo k navýšení úspory způsobené instalací rekuperace a NPV by se mohlo dostat do kladných čísel. Záleží na energetickém managementu RD. Proto jsem se rozhodl pro vytvoření další citlivostní

analýzy. Tentokrát závislosti NPV na velikosti úspory peněžních prostředků a prvotní investici viz Tabulka 19. V tomto případě již počítám s pevně daným meziročním růstem cen energií na hodnotu 3 % ročně.

Tabulka 19 – Citlivostní analýza pro rekuperační systém: NPV v závislosti na roční úspoře a prvotní investici. Zdroj: vlastní tvorba.

↓ Inv./úsp. →	1 100 Kč	1 300 Kč	1 500 Kč	1 700 Kč	1 900 Kč	2 100 Kč
141 358 Kč	-16 176 Kč	-9 881 Kč	-3 585 Kč	2 710 Kč	9 006 Kč	15 301 Kč
140 358 Kč	-15 176 Kč	-8 881 Kč	-2 585 Kč	3 710 Kč	10 006 Kč	16 301 Kč
139 358 Kč	-14 176 Kč	-7 881 Kč	-1 585 Kč	4 710 Kč	11 006 Kč	17 301 Kč
138 358 Kč	-13 176 Kč	-6 881 Kč	-585 Kč	5 710 Kč	12 006 Kč	18 301 Kč
137 358 Kč	-12 176 Kč	-5 881 Kč	415 Kč	6 710 Kč	13 006 Kč	19 301 Kč
136 358 Kč	-11 176 Kč	-4 881 Kč	1 415 Kč	7 710 Kč	14 006 Kč	20 301 Kč
135 358 Kč	-10 176 Kč	-3 881 Kč	2 415 Kč	8 710 Kč	15 006 Kč	21 301 Kč
134 358 Kč	-9 176 Kč	-2 881 Kč	3 415 Kč	9 710 Kč	16 006 Kč	22 301 Kč
133 358 Kč	-8 176 Kč	-1 881 Kč	4 415 Kč	10 710 Kč	17 006 Kč	23 301 Kč
132 358 Kč	-7 908 Kč	-1 612 Kč	4 683 Kč	10 979 Kč	17 274 Kč	23 570 Kč
131 358 Kč	-7 658 Kč	-1 362 Kč	4 933 Kč	11 229 Kč	17 524 Kč	23 820 Kč
130 358 Kč	-7 408 Kč	-1 112 Kč	5 183 Kč	11 479 Kč	17 774 Kč	24 070 Kč
129 358 Kč	-7 158 Kč	-862 Kč	5 433 Kč	11 729 Kč	18 024 Kč	24 320 Kč
128 358 Kč	-6 908 Kč	-612 Kč	5 683 Kč	11 979 Kč	18 274 Kč	24 570 Kč
127 358 Kč	-6 658 Kč	-362 Kč	5 933 Kč	12 229 Kč	18 524 Kč	24 820 Kč
126 358 Kč	-6 408 Kč	-112 Kč	6 183 Kč	12 479 Kč	18 774 Kč	25 070 Kč
125 358 Kč	-6 158 Kč	138 Kč	6 433 Kč	12 729 Kč	19 024 Kč	25 320 Kč
124 358 Kč	-5 908 Kč	388 Kč	6 683 Kč	12 979 Kč	19 274 Kč	25 570 Kč
123 358 Kč	-5 658 Kč	638 Kč	6 933 Kč	13 229 Kč	19 524 Kč	25 820 Kč
122 358 Kč	-5 408 Kč	888 Kč	7 183 Kč	13 479 Kč	19 774 Kč	26 070 Kč
121 358 Kč	-5 158 Kč	1 138 Kč	7 433 Kč	13 729 Kč	20 024 Kč	26 320 Kč

V případě zvýšení roční úspory z 1 100 Kč na hodnotu 1 700 Kč se již systém „přehoupne“ do kladných hodnot a bylo by jej možné doporučit také z ekonomického hlediska. Roční úspora bude taktéž záviset na venkovních teplotách, kdy pro chladnější zimy bude velikost úspory vyšší. Ze zdravotního hlediska je systém potřebný z důvodu vzduchotěsnosti, kdy dle mého názoru by rodina především v zimě nevětrala tak, aby byla zajištěna dostatečná výměna vzduchu. Přestože systém se pohybuje na hranici ekonomické rentability, kdy jej lze z ekonomického hlediska přijmout či zamítnout v závislosti na zvolených vstupních parametrech, ze zdravotního hlediska majícího přednost, jej doporučuji. Další citlivostní analýzy lze nalézt v příloze Výpočty_a_tabulky.

Protože je dům ve fázi výstavby, můžeme také uvažovat o dalším alternativním způsobu využití dotace z NZÚ, které by zahrnovalo rekuperační systém. Dům by bylo možné dostat do pasivního standardu. Tím by se na něj vztahovala podoblast podpory B.1 určená pro výstavbu RD s velmi nízkou energetickou náročností, kde je podmínkou instalace systému nuceného větrání se zpětným získáváním tepla. Tuto možnost rozeberu v další kapitole.

4.3. Varianta 4 – Dům v pasivním standardu

Při podrobnějším prozkoumání projektové dokumentace RD jsem zjistil, že posuzovaný objekt je jen těsně nad hranicí, kdy by jej šlo zařadit mezi nízkoenergetické stavby. A to i přes to, že v tomto návrhu nebylo počítáno s rekuperačním systémem. S rekuperačním systémem by již posuzovaný RD do této kategorie spadal a nebyl by daleko ani k pasivnímu standardu viz předchozí kapitola. Vzhledem k tomu, že je dům v současnosti ve fázi výstavby, lze projekt stále v určitých ohledech pozměnit.

Prosklené plochy (dveře a okna) splňují požadavky, které jsou kladeny na domy v pasivním standardu, a není zde potřeba úpravy projektu. Majitel objektu zvažuje výměnu vchodových plastových dveří na severní straně objektu za dveře dřevo-hliníková s parametrem $U = 0,68 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$. Rozdíl v ceně činí 10 000 Kč a zahrnuje jej v této kapitole do svého výpočtu. Z porovnání, které uvádím níže, viz Tabulka 13, jsem vyvodil, že největší potenciál snížení potřeby energie vidím v dodatečném zateplení podlahy. Aby se dům dostal do pasivního standardu, musela by se dále zateplit obvodová stěna objektu i střecha.⁸² Ve svých výpočtech využiji zjednodušujícího předpokladu, že materiály využitě pro zateplení objektu mají stejné vlastnosti jako materiály využitě v prvotním projektu (EPS – pěnový polystyren, $\lambda = 0,051 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$).⁸³

Při respektování výše uvedeného předpokladu jsem si určil tloušťku potřebného dodatečného zateplení, aby se dům dostal do pasivního standardu. Tloušťku dodatečného zateplení včetně jeho ocenění zobrazuje Tabulka 20 a Tabulka 21. Nové hodnoty U pak viz Tabulka 22.

Tabulka 20 – Tloušťka dodatečného zateplení. Zdroj: vlastní tvorba.⁸⁴

Konstrukce	Materiál	Tloušťka [mm]	Cena [Kč.m-2]	Plocha [m2]	Celkem [Kč]
Z1: Obvod. Stěna, 400mm+200mm	Tepelná izolace	150	254,1	177	44 976
Z1: Obvod. Stěna, 400mm+100mm	Tepelná izolace	100	169,4	30,9	5 234
Z1: Skladba krovu RD - zateplený	Tepelná izolace nad krove	100	215,19	142,7	30 708
	Tepelná izolace mezi krovky	20	43,04	128	5 528
Z1: Skladba podlahy, obytná část, 1NP	Tepelná izolace	280	487,74	140,8	68 674

⁸² To může znamenat buď použití při zateplení objektu materiál s lepšími tepelně izolačními vlastnostmi (snížení U), nebo použití širší tloušťky izolace a poupravit PD.

⁸³ V PD nebyly uvedeny jednotlivé materiály s hodnotami λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$], ani cena materiálů. Proto využívám tohoto zjednodušujícího předpokladu.

⁸⁴ Ceny jsem si určil dle ceníku produktů k 30. 4. 2017 na internetovém portálu: <https://www.dek.cz/produkty/vypis/25-penovy-polystyren-eps>

Cena za materiál v součtu činí 155 119 Kč a k této ceně připočítám 15% navýšení, které by dle konzultace mělo pokrýt související výdaje na práci, pozměnění projektu a další⁸⁵. Nutnou investicí pro splnění podmínek kladených NZÚ je, jak jsem již zmínil, investice do systému nuceného větrání s rekuperací tepla. Celková cena na tato opatření se tak vyšplhá na 330 245 Kč, viz Tabulka 21.

Tabulka 21 – Dodatečné výdaje pro RD v pasivním standardu. Zdroj: vlastní tvorba.

Investice pro pasivní dům	
Dodatečné zateplení	178 387 Kč
Rekuperace	141 358 Kč
Výměna dveří	10 500 Kč
Celkem	330 245 Kč
Dotace	300 000 Kč
Celkem bez dotace	30 245 Kč
Roční úspora	2 564 Kč

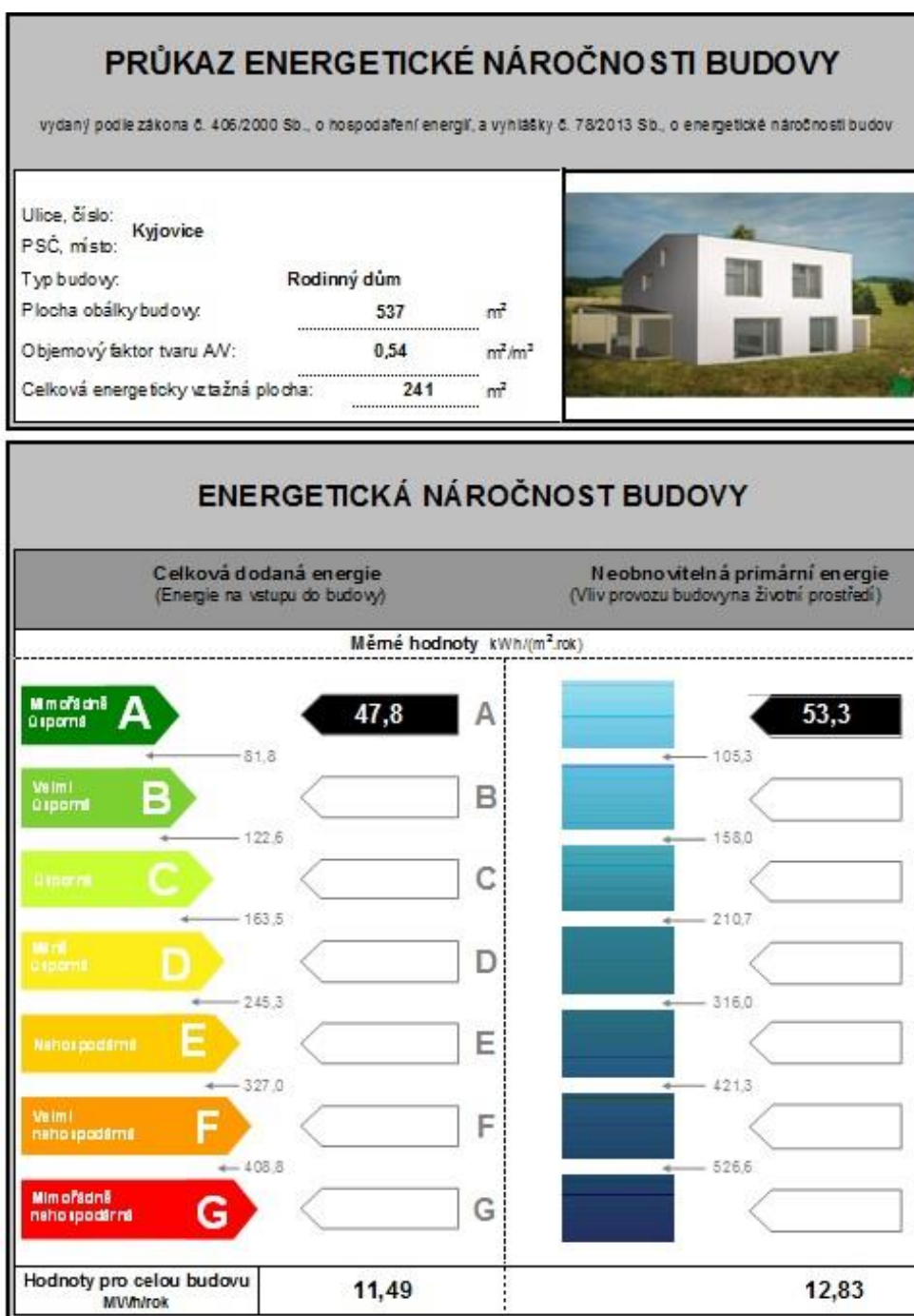
V této tabulce je již také uvedena roční úspora, ke které jsem došel obdobným způsobem jako v předešlých případech. Nejprve jsem si zadal do kalkulačního nástroje NKN II vypočtené vstupy, které je možno vidět viz Tabulka 22. Po zadání potřebných údajů bude objekt svými parametry splňovat nároky pro přiznání dotace NZÚ v podoblasti podpory B.1, viz Obrázek 23, Obrázek 24 a Obrázek 25.

Tabulka 22 – Nové hodnoty U_j pro budovu v pasivním standardu. Zdroj: vlastní tvorba.

Konstrukce	Materiál	d_m [mm]	R_j [m ² .K.W-1]	U_j [W.m-2.K-1]
Z1: Obvod. Stěna, 400mm+200mm	Vnější omítka	11,4	8,82	0,11
	Porotherm P+D	400		
	Tepelná izolace	350		
	Vnitřní omítka	11,4		
Z1: Obvod. Stěna, 400mm+100mm	Vnější omítka	11,4	5,77	0,17
	Porotherm P+D	400		
	Tepelná izolace	200		
	Vnitřní omítka	11,4		
Z1: Skladba krovu RD - zateplený	Záklop OSB	22	8,66	0,12
	Tepelná izolace	320		
	Tepelná izolace	100		
	Multifunkční panel PD	12		
Z1: Podlaha, obyt. Část, 1NP	Podkladní beton (keramzit)	150	8,47	0,12
	Tepelná izolace	400		








⁸⁵ Dalším výdajem může být např. měření vzduchotěsnosti objektu.

Obrázek 23 – PENB, RD v pasivním standardu. Zdroj: vlastní tvorba s pomocí NKN II.



Zde je vidět splnění podmínky pro měrnou hodnotu neobnovitelné primární energie, která je NZÚ nastavena na $90 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$. Celková dodaná energie na vstupu do budovy pak klesla o $6,72 \text{ MWh} \cdot \text{rok}^{-1}$ na hodnotu $11,49 \text{ MWh} \cdot \text{rok}^{-1}$.

Obrázek 24 – Dílčí ukazatele energetické náročnosti objektu, RD v pasivním standardu. Zdroj: vlastní tvorba s pomocí NKN II.

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY							
	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
	U_{em} W/(m ² ·K)	Dílčí dodaná energie			Měrné hodnoty kWh/(m ² ·rok)		
Mimořádně dobrá	 0,17	 20,0					 4,0
A	0,17	20,0					4,0
B				1,5		17,4	
C							
D							
E							
F							
G			4,9				
Mimořádně nevhodná							
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok		4,8	1,2	0,4	0,0	4,2	1,0

Dílčí ukazatelé energetické náročnosti budovy již také splňují podmínky kladené NZÚ. Požadovaný parametr měrné roční potřeby tepla na vytápění, který je stanoven na hodnotu menší nebo rovnou $20 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$, je splněn. Stejně jako požadavek $U \leq U_{pas,rec}$ na jednotlivé konstrukce a tím i $U_{em} \leq 0,22 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, který mi vyšel $U_{em} = 0,17 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$. Další parametry a požadavky, kterým může být například využití specializovaných firem na dané práce (nikoli svépomocí), pokládám za splněné a беру taktéž jako zjednodušující předpoklad. Proto v ekonomickém hodnocení budu počítat s maximální možnou přičtenou částkou v dané podoblasti podpory respektive s 300 000 Kč.

Obrázek 25 – Spotřeba energie dle energonositele, RD v pasivním standardu. Zdroj: vlastní tvorba s pomocí NKN II.

E nergonositel	Dílčí vypočtená spotřeba energie/ Pomocná energie	Faktor celkové primární energie	Faktor neobnovitelné primární energie	Celková primární energie	Neobnovitelná primární energie
	(kWh/rok)	(-)	(-)	(kWh/rok)	(kWh/rok)
Zemní plyn	0	1,1	1,1	0	0
Černé uhlí	0	1,1	1,1	0	0
Hnědé uhlí	0	1,1	1,1	0	0
Propan-butan/LPG	0	1,2	1,2	0	0
Topný olej	0	1,2	1,2	0	0
Elektřina	2872	3,2	3	9191	8617
Dřevěné peletky	0	1,2	0,2	0	0
Kusové dřevo, dřevní štěpka	1201	1,1	0,1	1321	120
Energie okolního prostředí (elektřina a teplo)	5028	1	0	5028	0
Elektřina - dodávka mimo budovu	0	-3,2	-3	0	0

Výsledkem vytvořeného modelu spotřeby elektrické energie v průběhu roku mezi VT (390,8 kWh. rok⁻¹) a NT (4 481,2 kWh. rok⁻¹) vyšly náklady na elektrickou energii 13 937 Kč. rok⁻¹ respektive roční úspora 862 Kč oproti původnímu stavu. Roční náklady na dřevní štěpku by poklesly o 1 702 Kč, tedy na 1 081 Kč. rok⁻¹. Celková roční úspora tak činí 2 564 Kč.

Doposud jsem při ekonomickém hodnocení počítal s dobou ekonomické životnosti 25 let, která se dala v předchozích případech uvažovat i jako doba ekonomické životnosti těchto opatření. V tomto případě je ale doba ekonomické životnosti investice delší (u zateplování). Proto, abych zachoval stejnou dobu porovnání pro všechny varianty, připočtu k poslednímu roku (25. roku) její zůstatkovou hodnotu. Zůstatkovou hodnotu jsem stanovil na základě diskontovaných účetních odpisů, kdy investici odepisuji po dobu 40 let. Financování projektu bude opět provedeno z finančních úspor majitele objektu. Obdobně jako v předešlých případech jsem si vytvořil citlivostní analýzu, níže viz Tabulka 23. Pro tento případ jsem zvolil k prezentaci závislost NPV na velikosti prvotní investice a roční úspoře.

Tabulka 23 – Citlivostní analýza pro dům v pasivním standardu: NPV v závislosti na roční úspoře a prvotní investici.
Zdroj: vlastní tvorba.

↓ Úsp./inv. →	310 245 Kč	320 245 Kč	330 245 Kč	340 245 Kč	350 245 Kč	360 245 Kč
1 064 Kč	67 708 Kč	57 708 Kč	47 708 Kč	37 708 Kč	27 708 Kč	17 708 Kč
1 164 Kč	70 856 Kč	60 856 Kč	50 856 Kč	40 856 Kč	30 856 Kč	20 856 Kč
1 264 Kč	74 004 Kč	64 004 Kč	54 004 Kč	44 004 Kč	34 004 Kč	24 004 Kč
1 364 Kč	77 152 Kč	67 152 Kč	57 152 Kč	47 152 Kč	37 152 Kč	27 152 Kč
1 464 Kč	80 299 Kč	70 299 Kč	60 299 Kč	50 299 Kč	40 299 Kč	30 299 Kč
1 564 Kč	83 447 Kč	73 447 Kč	63 447 Kč	53 447 Kč	43 447 Kč	33 447 Kč
1 664 Kč	86 595 Kč	76 595 Kč	66 595 Kč	56 595 Kč	46 595 Kč	36 595 Kč
1 764 Kč	89 743 Kč	79 743 Kč	69 743 Kč	59 743 Kč	49 743 Kč	39 743 Kč
1 864 Kč	92 890 Kč	82 890 Kč	72 890 Kč	62 890 Kč	52 890 Kč	42 890 Kč
1 964 Kč	96 038 Kč	86 038 Kč	76 038 Kč	66 038 Kč	56 038 Kč	46 038 Kč
2 064 Kč	99 186 Kč	89 186 Kč	79 186 Kč	69 186 Kč	59 186 Kč	49 186 Kč
2 164 Kč	102 334 Kč	92 334 Kč	82 334 Kč	72 334 Kč	62 334 Kč	52 334 Kč
2 264 Kč	105 481 Kč	95 481 Kč	85 481 Kč	75 481 Kč	65 481 Kč	55 481 Kč
2 364 Kč	108 629 Kč	98 629 Kč	88 629 Kč	78 629 Kč	68 629 Kč	58 629 Kč
2 464 Kč	111 777 Kč	101 777 Kč	91 777 Kč	81 777 Kč	71 777 Kč	61 777 Kč
2 564 Kč	114 925 Kč	104 925 Kč	94 925 Kč	84 925 Kč	74 925 Kč	64 925 Kč
2 664 Kč	118 072 Kč	108 072 Kč	98 072 Kč	88 072 Kč	78 072 Kč	68 072 Kč
2 764 Kč	121 220 Kč	111 220 Kč	101 220 Kč	91 220 Kč	81 220 Kč	71 220 Kč
2 864 Kč	124 368 Kč	114 368 Kč	104 368 Kč	94 368 Kč	84 368 Kč	74 368 Kč
2 964 Kč	127 516 Kč	117 516 Kč	107 516 Kč	97 516 Kč	87 516 Kč	77 516 Kč
3 064 Kč	130 663 Kč	120 663 Kč	110 663 Kč	100 663 Kč	90 663 Kč	80 663 Kč
3 164 Kč	133 811 Kč	123 811 Kč	113 811 Kč	103 811 Kč	93 811 Kč	83 811 Kč
3 264 Kč	136 959 Kč	126 959 Kč	116 959 Kč	106 959 Kč	96 959 Kč	86 959 Kč
3 364 Kč	140 107 Kč	130 107 Kč	120 107 Kč	110 107 Kč	100 107 Kč	90 107 Kč
3 464 Kč	143 254 Kč	133 254 Kč	123 254 Kč	113 254 Kč	103 254 Kč	93 254 Kč
3 564 Kč	146 402 Kč	136 402 Kč	126 402 Kč	116 402 Kč	106 402 Kč	96 402 Kč
3 664 Kč	149 550 Kč	139 550 Kč	129 550 Kč	119 550 Kč	109 550 Kč	99 550 Kč
3 764 Kč	152 698 Kč	142 698 Kč	132 698 Kč	122 698 Kč	112 698 Kč	102 698 Kč

Z citlivostní analýzy vyplývá, že investice do opatření vedoucích k RD v pasivním standardu, se vyplatí. Pro výchozí hodnoty je NPV rovno 94 925 Kč a projekt by byl doporučen k realizaci. Dále z mnou provedené citlivostní analýzy vyplývá, že i kdyby prvotní investice přesáhla pro danou úsporu hodnotu 420 000 Kč, stále by NPV bylo kladné.

Další, pro mě zajímavou, citlivostní analýzou byla závislost NPV na meziročním růstu cen energií a úspory oproti původnímu stavu viz Tabulka 24.

Tabulka 24 – Citlivostní analýza pro dům v pasivním standardu: NPV v závislosti na meziročním růstu cen energií a dosažené úspory. Zdroj: vlastní tvorba.

↓ Úsp./g →	2,00%	2,25%	2,50%	2,75%	3,00%	3,25%
1 064 Kč	43 536 Kč	44 518 Kč	45 539 Kč	46 602 Kč	47 708 Kč	48 860 Kč
1 164 Kč	46 292 Kč	47 365 Kč	48 483 Kč	49 646 Kč	50 856 Kč	52 116 Kč
1 264 Kč	49 048 Kč	50 213 Kč	51 426 Kč	52 689 Kč	54 004 Kč	55 373 Kč
1 364 Kč	51 803 Kč	53 061 Kč	54 370 Kč	55 733 Kč	57 152 Kč	58 629 Kč
1 464 Kč	54 559 Kč	55 909 Kč	57 314 Kč	58 777 Kč	60 299 Kč	61 885 Kč
1 564 Kč	57 315 Kč	58 757 Kč	60 258 Kč	61 821 Kč	63 447 Kč	65 141 Kč
1 664 Kč	60 070 Kč	61 605 Kč	63 202 Kč	64 864 Kč	66 595 Kč	68 397 Kč
1 764 Kč	62 826 Kč	64 453 Kč	66 146 Kč	67 908 Kč	69 743 Kč	71 653 Kč
1 864 Kč	65 581 Kč	67 300 Kč	69 090 Kč	70 952 Kč	72 890 Kč	74 909 Kč
1 964 Kč	68 337 Kč	70 148 Kč	72 033 Kč	73 995 Kč	76 038 Kč	78 165 Kč
2 064 Kč	71 093 Kč	72 996 Kč	74 977 Kč	77 039 Kč	79 186 Kč	81 421 Kč
2 164 Kč	73 848 Kč	75 844 Kč	77 921 Kč	80 083 Kč	82 334 Kč	84 677 Kč
2 264 Kč	76 604 Kč	78 692 Kč	80 865 Kč	83 127 Kč	85 481 Kč	87 933 Kč
2 364 Kč	79 360 Kč	81 540 Kč	83 809 Kč	86 170 Kč	88 629 Kč	91 189 Kč
2 464 Kč	82 115 Kč	84 388 Kč	86 753 Kč	89 214 Kč	91 777 Kč	94 445 Kč
2 564 Kč	84 871 Kč	87 235 Kč	89 696 Kč	92 258 Kč	94 925 Kč	97 701 Kč
2 664 Kč	87 627 Kč	90 083 Kč	92 640 Kč	95 302 Kč	98 072 Kč	100 957 Kč
2 764 Kč	90 382 Kč	92 931 Kč	95 584 Kč	98 345 Kč	101 220 Kč	104 213 Kč
2 864 Kč	93 138 Kč	95 779 Kč	98 528 Kč	101 389 Kč	104 368 Kč	107 469 Kč
2 964 Kč	95 893 Kč	98 627 Kč	101 472 Kč	104 433 Kč	107 516 Kč	110 725 Kč
3 064 Kč	98 649 Kč	101 475 Kč	104 416 Kč	107 477 Kč	110 663 Kč	113 981 Kč
3 164 Kč	101 405 Kč	104 323 Kč	107 359 Kč	110 520 Kč	113 811 Kč	117 237 Kč
3 264 Kč	104 160 Kč	107 170 Kč	110 303 Kč	113 564 Kč	116 959 Kč	120 493 Kč
3 364 Kč	106 916 Kč	110 018 Kč	113 247 Kč	116 608 Kč	120 106 Kč	123 749 Kč
3 464 Kč	109 672 Kč	112 866 Kč	116 191 Kč	119 652 Kč	123 254 Kč	127 005 Kč
3 564 Kč	112 427 Kč	115 714 Kč	119 135 Kč	122 695 Kč	126 402 Kč	130 261 Kč
3 664 Kč	115 183 Kč	118 562 Kč	122 079 Kč	125 739 Kč	129 550 Kč	133 517 Kč
3 764 Kč	117 939 Kč	121 410 Kč	125 022 Kč	128 783 Kč	132 697 Kč	136 773 Kč

Z této citlivostní analýzy lze vyvodit, že i při menší úspoře a menším meziročním růstem cen energií (hodnoty budou do určité míry provázány), se bude projekt stále pohybovat v kladných hodnotách. Tato citlivostní analýza potvrdila předešlé výsledky a projekt bych proto doporučil k realizaci.

4.4. Závěrečné vyhodnocení navržených variant

Nyní si zde krátce shrnu opatření, viz Tabulka 25, které jsem navrhl za účelem snížení potřeby energie v RD.

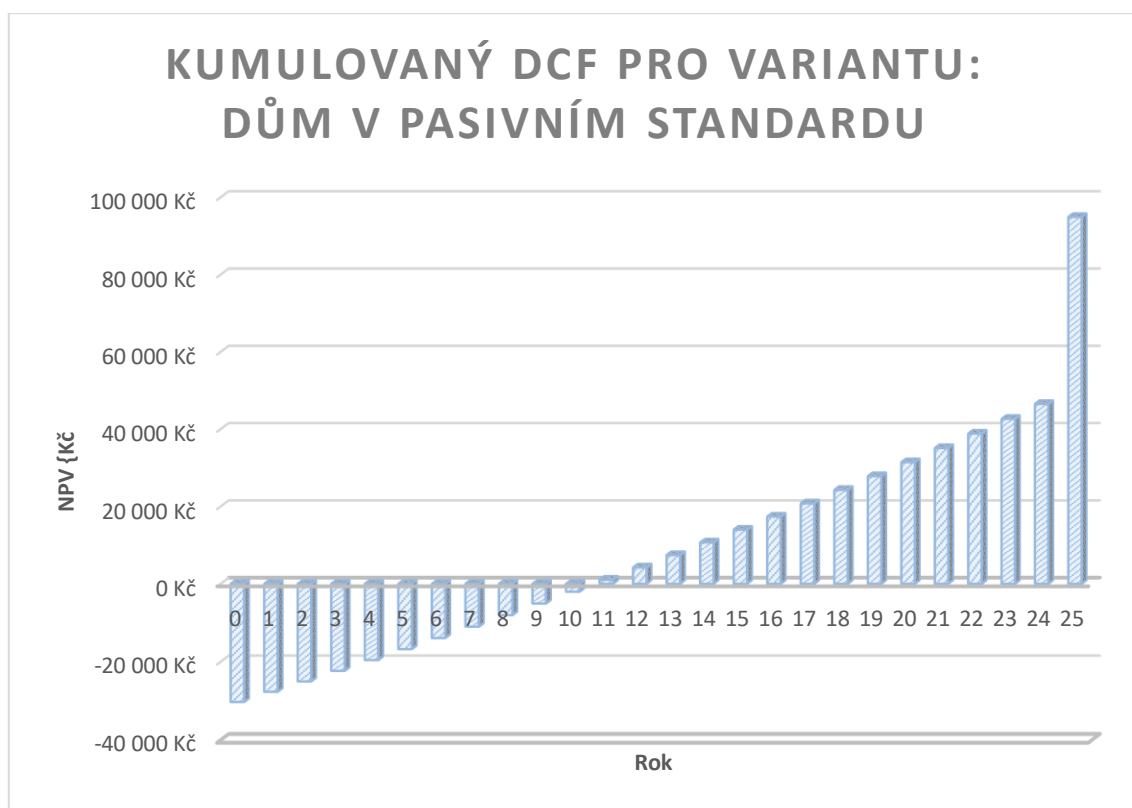
Tabulka 25 – Souhrn navrhovaných variant. Zdroj: vlastní tvorba.

Varianta	FVE var. 1	FVE var. 2	Rekuperace	RD v pasiv. stand.
Diskont	1,25%	1,25%	1,25%	1,25%
Meziroční růst cen	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%
Doba životnosti	25 let	25 let	25 let	25 let
Investice	149 146 Kč	250 546 Kč	141 358 Kč	330 245 Kč
Dotace	55 000 Kč	70 000 Kč	100 000 Kč	300 000 Kč
Investice vlastníka ⁸⁶	94 146 Kč	180 546 Kč	41 358 Kč	30 245 Kč
Roční úspora	992 Kč	992 Kč	1 100 Kč	2 564 Kč
NPV	-62 932 Kč	-192 472 Kč	-16 176 Kč	94 921 Kč
IRR	-6,82%	-15,07%	-3,31%	10,30%
PP	> 25 let	> 25 let	> 25 let	10 let
DPP	> 25 let	> 25 let	> 25 let	11 let
Doporučení	NE	NE	NE	ANO
Zdravotní doporučení	x	x	ANO	ANO

Instalace navržených FVE systémů (varianta 1: akumulace přebytků do TV, varianta 2: akumulace přebytků do baterie) se z ekonomického hlediska nevyplatí. Hlavní kritérium NPV vyšlo záporně, což znamená doporučení projekt nerealizovat. U FVE var. 2 je vidět, že hodnota NPV je vyšší než původní investice vlastníka. To je způsobeno kratší životností akumulátorů (bude nutná reinvestice během doby hodnocení). Další pomocná kritéria vycházejí taktéž negativně, tudíž FV systémy nedoporučuji instalovat. U samotného systému rekuperace je situace složitější. NPV a další pomocná kritéria vycházejí negativně a tudíž bych tento systém k realizaci z ekonomického hlediska nedoporučil, nicméně ze zdravotního hlediska (přísun čerstvého vzduchu do budovy/místnosti), které má přednost, bych jej realizovat doporučil. Ovšem za předpokladu, že by se majitel rozhodl nerealizovat poslední doporučenou variantu. Variantu, která doplňuje původní projekt o rekuperační systém, nové vchodové dveře a větší sílu zateplení a dostává tak RD do pasivního standardu. NPV u varianty RD v pasivním standardu vycházelo v citlivostních analýzách kladně i přes případné navýšení investice o 90 000 Kč, tudíž jej dle NPV doporučuji k realizaci. Hodnota IRR je kladná a nad zvoleným diskontem, proto i dle druhého kritéria doporučuji projekt k realizaci. Doba návratnosti i diskontovaná doba návratnosti jsou kratší než ekonomická životnost investice a rovněž vyznívají kladně pro realizaci projektu. Kumulovaný diskontovaný tok hotovosti poslední varianty zobrazuje Obrázek 26.

⁸⁶ Po odečtení dotace.

Obrázek 26 – DCF pro variantu: RD v pasivním standardu. Zdroj: vlastní tvorba.



Na závěr této práce krátce uvedu vliv RD na životní prostředí viz Tabulka 26. K posouzení vlivu na životní prostředí využiji všeobecné emisní faktory oxidu uhličitého, které jsou stanoveny na hodnotu 1,17 t CO₂. MWh⁻¹ elektřiny a pro biomasu na 0 t CO₂. MWh⁻¹ výhřevnosti paliva.⁸⁷

Tabulka 26 – Výpočet emisí oxidu uhličitého vzniklých provozem RD. Zdroj: vlastní tvorba.

Varianta	Původní RD	FVE var. 1	FVE var. 2	Rekuperace	Pasivní standard
Spotřeba el. energie	5,28 MWh	3,97 MWh	3,97 MWh	5,20 MWh	4,87 MWh
Spotřeba biomasy	3,09 MWh	3,09 MWh	3,09 MWh	2,09 MWh	1,20 MWh
CO ₂	6,18 t	4,64 t	4,64 t	6,08 t	5,70 t

Provozem RD dle původního návrhu se ročně vyprodukuje 6,18 t emisí oxidu uhličitého. Veškeré navržené varianty v praktické části DP vedou ke snížení potřeby energie dodané do objektu a ke snížení množství vypuštěných emisí.

⁸⁷ DOLEŽEL, Jiří. MPO. *Výpočet úspor emisí oxidu uhličitého (CO₂)* [online]. Praha: MPO, 2006 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/dokument6794.html>

5. Závěr

Na základě teoretické části práce, kde jsem popsal legislativu, která se vztahuje na rodinné domy a podle které se vyhotovuje PENB jsem zhodnotil aktuální stav pro RD podle jeho projektové dokumentace po technické i ekonomické stránce a navrhl opatření, která vedla ke snížení potřeby energie RD.

Mezi tato opatření patřila instalace FVE na střechu objektu s akumulací přebytků do teplé vody, FVE s akumulací do baterie, instalace centrálního systému nuceného větrání se zpětným získáváním tepla a posun domu do pasivního standardu pomocí dodatečného zateplení spolu s instalací rekuperačního systému.

U všech těchto opatření jsem zhodnotil nutné investiční výdaje, uvedl předpoklady, s kterými jsem kalkuloval a vyčíslil úsporu peněžních prostředků, kterou jednotlivé opatření vyvolaly. Došel jsem k závěru, že z ekonomického hlediska bych doporučil pouze poslední variantu, a to posun domu do pasivního standardu. Toto opatření se jeví jako racionální, protože dům je podle své PD velmi dobře zateplen a další vynaložené prostředky pro to, aby se dům dostal do pasivního standardu, by pokryla z velké části dotace, která činí v podoblasti podpory B.1 až 300 000 Kč. Tato varianta zahrnuje systém nuceného větrání, který bych doporučil ze zdravotního hlediska i jako samostatné opatření k realizaci (pokud se majitel rozhodne neprovádět posun RD do pasivního standardu), přestože z ekonomického hlediska bych jej nedoporučil.

V práci jsem dle mého názoru postupoval systematicky a aktuální problematiku týkající se zásobování RD energií výstižně popsal a přehledně prezentoval na reálném objektu.

6. Použité zdroje

AquaMaster-30Z: MasterTherm [online]. Praha: MasterTherm, 2016 [cit. 2017-02-23].

Dostupné z: <http://www.mastertherm.cz/tepelne-cerpadlo-aquamaster>

BERANOVSKÝ, Jiří a Jan POKORNÝ. *Je úsporný dům opravdu úsporný?*, Praha: Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie, 2014 [cit. 2017-02-16]. ISBN 978-80-87333-10-5.

BYD B-PLUS 2.5 kWh [online]. Praha: prosolar, 2016 [cit. 2016-11-10]. Dostupné z:

<http://www.prosolar.net/cenik.php>

ČR. *Vyhláška č. 78/2013 Sb.: Vyhláška o energetické náročnosti budov*. In: . Praha: MPO, 2013, ročník 1, 115/2000, číslo 78. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2013-78>

ČR. *Zákon č. 406/2000 Sb.: Zákon o hospodaření energií*. In: . Praha: MPO, 2000, ročník 1, 115/2000, číslo 406. Dostupné také z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-406/zneni-20160101>

ČR. *Zákon č. 458/2000 Sb.: Energetický zákon*. In: . Praha: MPO, 2000, ročník 1, 131/2000, číslo 458. Dostupné také z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458>

ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky, ÚNMZ Praha, 2011

DOLEŽEL, Jiří. MPO. *Výpočet úspor emisí oxidu uhličitého (CO₂)* [online]. Praha: MPO, 2006 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz//dokument6794.html>

Efektivní vytápění plynem díky kondenzační technice [online]. Praha: Viessmann, spo. s. r. o., 2016 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://www.viessmann.cz/cs/obytno-budovy/plynove-kotle/plynove-kondenzacni-kotle.html>

FORT, J., SOUČEK, I.: *Podnikatelský záměr a investiční rozhodování*. 1. vyd. Praha, Grada Publishing, 2005. 356 stran. ISBN 80-247-0939-2

HABEL, Jiří. *Energetická náročnost osvětlovacích soustav* [online]. Praha: tzb, 2013 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/osvetleni/10162-energeticka-narocnost-osvetlovacich-soustav>

HALFAR, Jiří. *Projektová dokumentace: Novostavba rodinného domu*. Ostrava, 2016.

HRADÍLEK, Zdeněk, Ilona LÁZNIČKOVÁ a Vladimír KRÁL. *Elektrotepelná technika* [online]. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011 [cit. 2017-01-01]. ISBN 978-80-01-04938-9. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/cvut-3-elektrotepelna.pdf>

- HRDLIČKA, Jakub. SLAVONA. *Vliv solárních zisků a součinitele prostupu tepla okny na potřebu tepla na vytápění* [online]. Praha: slavona, 2015 [cit. 2016-11-06]. Dostupné z: <http://www.slavona.cz/tema-mesice/vliv-solarnich-zisku-a-soucinitele-prostupu-tepla-okny.html>
- HUDCOVÁ, Lenka. *Energetická náročnost budov* [online]. Praha: EkoWATT, 2009 [cit. 2017-02-16]. ISBN 978-80-87333-03-7. Dostupné z: http://ekowatt.cz/library/dokumenty/Energeticka_narocnost_budov.pdf
- INKAPO. *Energetický štítek* [online]. Praha: Inkapo, 2014 [cit. 2016-10-23]. Ing. Zdeněk Petrtyl. Dostupné z: <http://www.inkapo.cz/sluzby/energeticky-stitek-obalky-budovy>
- KISLINGEROVÁ, E. a kol.: *Manažerské finance*. 2 přepracované a rozšířené vydání, Praha: C. H. Beck, 2007. 744 s. ISBN 978-80-7179-903-0
- Kotle, kamna, krby* [online]. Praha: tzb, 2016 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby>
- KRAINER, Robert. *Tepelná čerpadla* [online]. Praha: TZB, 2014 [cit. 2016-11-26]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla>
- Který topný systém?* [online]. Praha: Viessmann, 2016 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://www.viessmann.cz/cs/obytno-budovy/ktery-topny-system.html>
- KVASNIČKA, Pavel. *Výměny plynových atmosférických kotlů za kondenzační, úspornější a ekologičtější – část 1.* [online]. Praha: tzb, 2016 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/14978-vymeny-plynovych-atmosferickych-kotlu-za-kondenzacni-uzpornejsi-a-ekologictejsi-cast-1>
- LAIN, Miloš. ČVUT - FAKULTA STROJNÍ. *Zpětné získávání tepla ve větrání a klimatizaci* [online]. Praha: tzb, 2006 [cit. 2016-11-06]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3648-zpetne-ziskavani-tepla-ve-vetrani-a-klimatizaci-i>
- LYČKA, Zdeněk. *Jak vybírat nový kotel na pevná paliva (1)* [online]. Praha: tzb, 2013 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9798-jak-vybirat-novy-kotel-na-pevna-paliva-1>
- MÍČKA, Pavel. *Diskontování* [online]. 2013, 17. 5. [cit. 2016-12-17]. Dostupné z: <http://www.algoritmy.net/article/130/Diskontovani>

MURTINGER, Karel. *Úsporný rodinný dům*. Praha: Grada Publishing, 2013. ISBN 978-80-247-4559-6.

Nová zelená úsporám [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2015 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/rodinne-domy/3-vyzva-rodinne-domy/podminky-oblasti-podpory-c-3-vyzva/>

PROVOZOVATELÉ DISTRI BUČNÍCH SOUSTAV. *Pravidla provozování distribučních soustav:*

Standardy připojení zařízení k distribuční soustavě [online]. Praha: ERU, 2016 [cit. 2016-10-23].

Dostupné z: http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2011/ppds-2011-priloha-6_def.pdf

QPRO. *Zpětné získávání tepla ve vzduchotechnice* [online]. Praha: QPRO, 2014 [cit. 2016-11-06]. Dostupné z: <http://www.qpro.cz/ZZT-rekuperace-regenerace>

SolarEdge třífázové střídače [online]. Praha: Solar Edge, 2016 [cit. 2016-11-07]. Dostupné z: <http://www.solaredge.com/sites/default/files/se-three-phase-inverter-datasheet-cz.pdf>

SRDEČNÝ, Karel. EKOWATT. *S energií efektivně: příručka pro energeticky úspornou domácnost*

[online]. 1. Praha: Magistrát hlavního města Prahy, 2015 [cit. 2016-11-05]. Dostupné z:

http://ekowatt.cz/cz/publikace/S_energie_efektivne_prirucka_pro_energeticky_ustupnou_domacnost

SunPower: MODEL: E20-327 [online]. web: Sunpower, 2015 [cit. 2016-10-30]. Dostupné z: <https://us.sunpower.com/sites/sunpower/files/media-library/data-sheets/e-series-home-solar-panels-comparison.pdf>

ŠUBRT, Roman a Zdeněk PETRÝL. TZBINFO. *Plastová okna: Okna a dveře* [online]. Praha: tzb-info, 2014 [cit. 2016-11-06]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/okna-dvere/236-plastova-okna>

Tepelná čerpadla MasterTherm [online]. Praha: MasterTherm, 2016 [cit. 2016-12-04].

Dostupné z:

http://www.mastertherm.cz/sites/default/files/downloads/tc_master_therm_uzivatelsky_manual_160418_0.pdf

Tepelná čerpadla voda - voda [online]. Praha: MasterTherm, 2016 [cit. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://www.mastertherm.cz/tepelna-cerpadla-voda-voda>

Tepelná čerpadla země - voda [online]. Praha: MasterTherm, 2016 [cit. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://www.mastertherm.cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda>

TNI 73 0329 – *Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - Rodinné domy*

URBAN, Miroslav. *Výpočet potřeby vody a tepla pro přípravu teplé vody podle ČSN EN 15316-3*
Zdroj: <http://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/7436-vypocet-potreby-vody-a-tepla-pro-pripravu-teple-vody-podle-csn-en-15316-3> [online]. Praha: tzb, 2011 [cit. 2017-01-01].

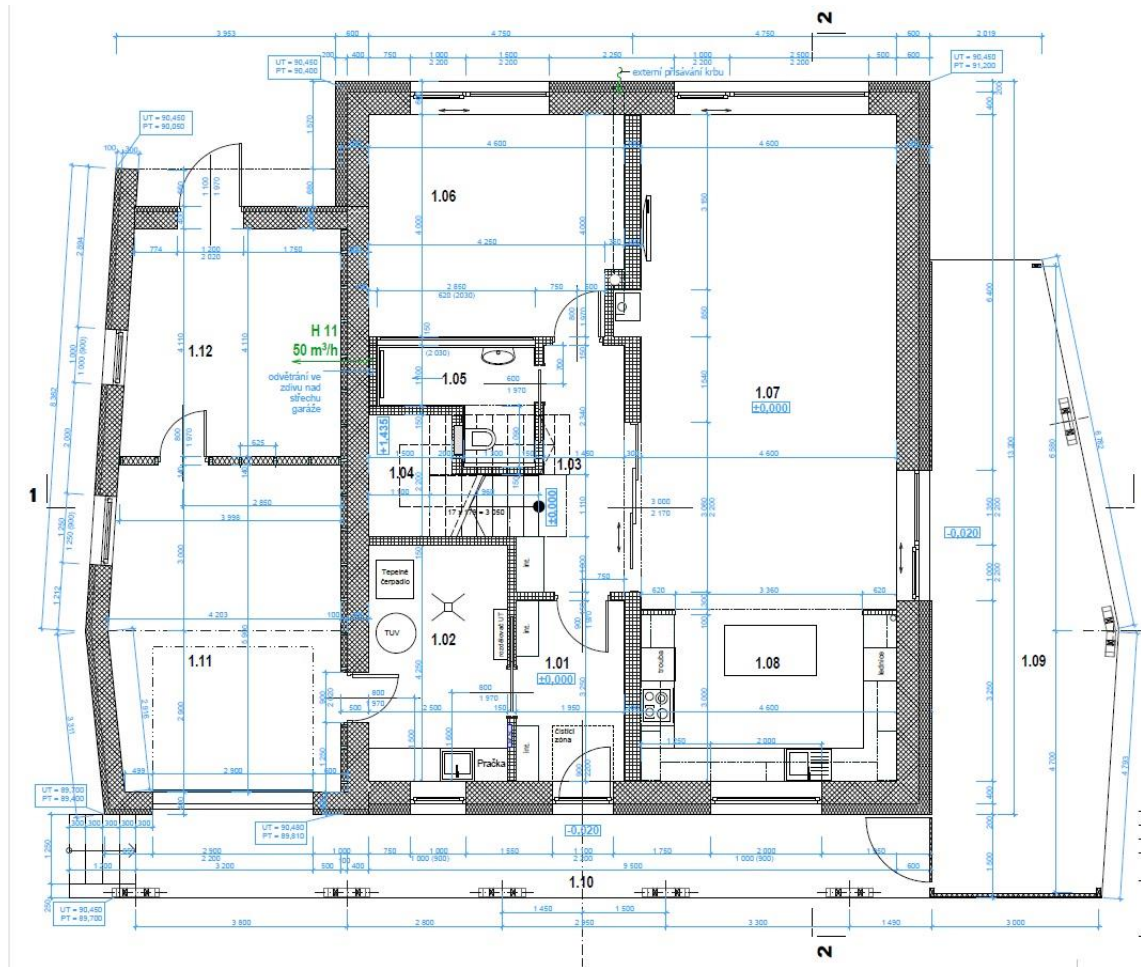
Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/7436-vypocet-potreby-vody-a-tepla-pro-pripravu-teple-vody-podle-csn-en-15316-3>

Vytápění tepelným čerpadlem Master Therm [online]. Praha: MasterTherm, 2016 [cit. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://www.mastertherm.cz/vytapeni>

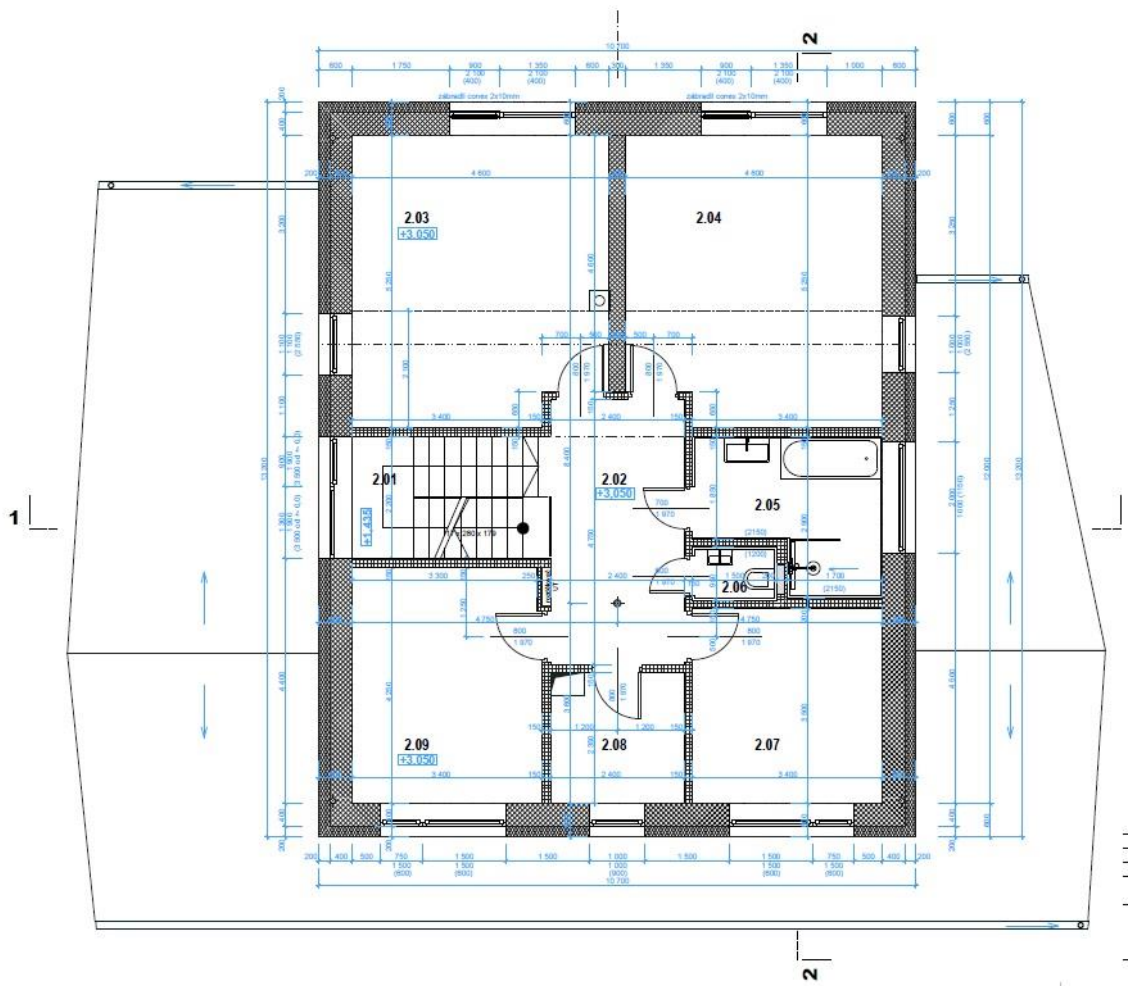
WATTRouter M SSR [online]. web: SolarControls, 2015 [cit. 2016-10-30]. Dostupné z: http://www.solarcontrols.cz/cz/wattrouter_m_ssr.html

7. Tištěné přílohy

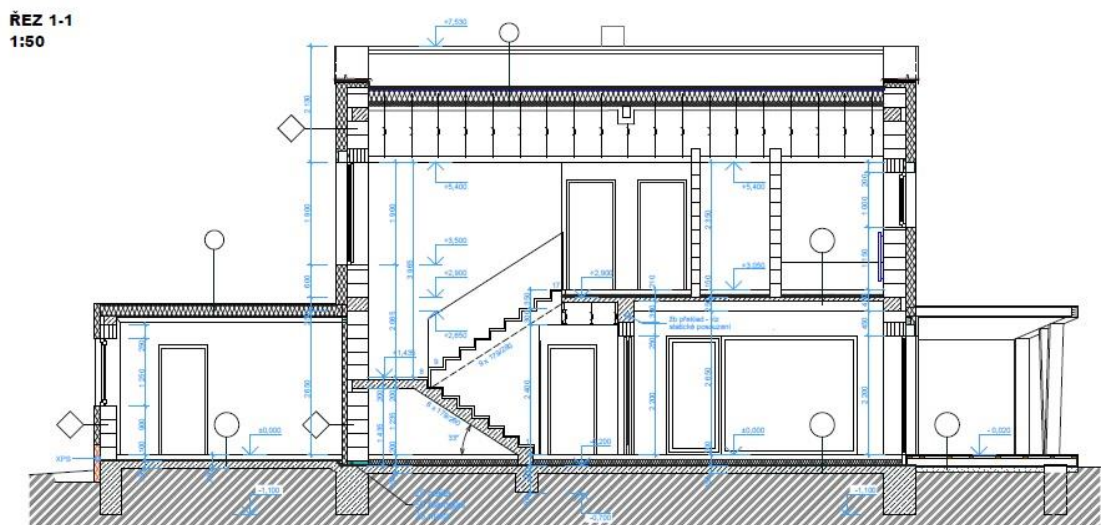
Příloha 1 – Půdorys 1NP. Zdroj: HALFAR, Jiří. Projektová dokumentace: Novostavba rodinného domu. Ostrava, 2016.

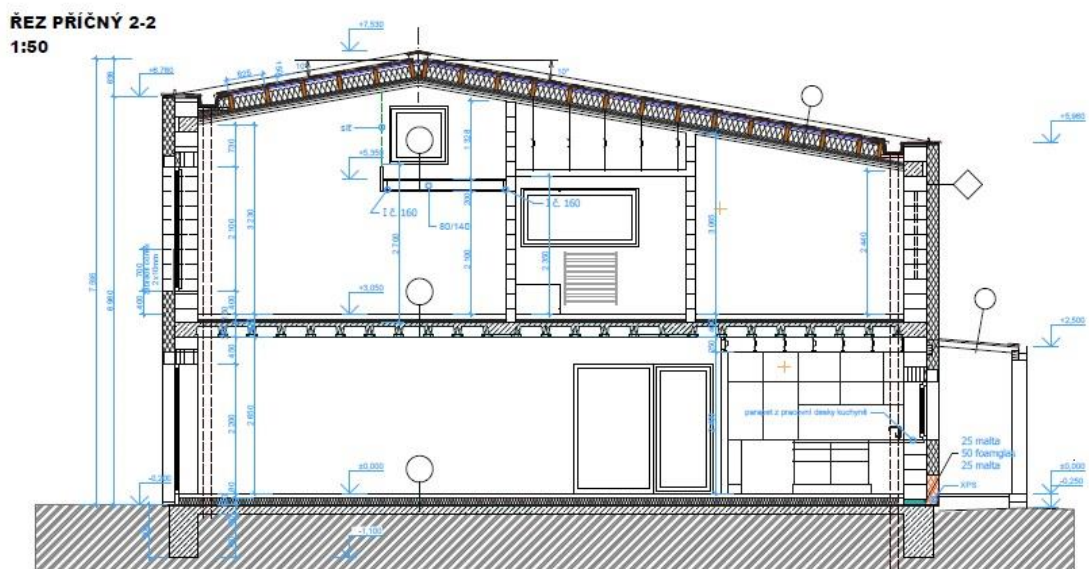


Příloha 2 – Půdorys 2NP. Zdroj: HALFAR, Jiří. Projektová dokumentace: Novostavba rodinného domu. Ostrava, 2016.



Příloha 3 – Řez RD. Zdroj: HALFAR, Jiří. Projektová dokumentace: Novostavba rodinného domu. Ostrava, 2016.





Návrhové hodnoty činitele teplotní redukce podle ČSN 73 0540-3

Následující tabulka uvádí návrhové hodnoty činitele teplotní redukce podle tab. F.2 v ČSN 73 0540-3. Tyto hodnoty jsou pouze orientační a je možné je použít při orientačních výpočtech u běžných budov. Zejména hodnoty uvedené u konstrukcí v kontaktu se zemí nebo nevytápěným prostorem nemusí vždy dobře vystihovat realitu. To platí především u dobře tepelně izolovaných konstrukcí v případě nízkoenergetických a pasivních domů. Přesnější hodnoty činitelů teplotní redukce pro konkrétní případy je možné vypočítat postupy podle ČSN 73 0540-4, přílohy H.

Typ konstrukce	činitel teplotní redukce $b [-]$		
	vnitřní prostředí		
	vytápěné	částečně vytápěné	
Konstrukce k venkovnímu prostředí			
Výplně otvorů (okna, dveře apod.)	1,15	0,82	
Střechy: stropy nad venkovním prostředím Stěny vnější, lehké obvodové pláště	1,00	0,71	
Konstrukce přilehlé k nevytápěnému prostoru			
Půda, podstřešní prostor při střeše:	• neizolované, netěsné	0,83	0,54
	• neizolované, těsné	0,74	0,46
	• izolované, těsné	0,57	0,29
Suterén nebo technické podlaží	• zcela pod terénem	0,43	0,14
	• zčásti pod terénem	0,49	0,20
	• odvětrané	0,57	0,29
Prostor nad terénem převážně k venkovnímu prostředí (např. přilehlá garáž, zimní zahrada, schodiště vysunutá mimo vytápěnou zónu, aj.)	0,49	0,20	
• výplně otvorů ze zóny do tohoto prostoru (okna, dveře apod.)	0,56	0,23	
Převážně prosklená přístavba (např. zimní zahrada)	0,71	0,43	
• výplně otvorů ze zóny do této přístavby (okna, dveře apod.)	0,82	0,49	
Přístavba odvětraná do venkovního prostředí odvětraná vzduchová vrstva konstrukce	0,91	0,63	
• výplně otvorů ze zóny do této přístavby (okna, dveře apod.)	1,05	0,71	
Konstrukce přilehlé k zemině			
Ve vzdálenosti od venkovního povrchu terénu u konstrukce:	• do 1 m včetně	0,66	0,52
	• od 1 m do 2 m včetně	0,57	0,40
	• od 2 m do 3 m včetně	0,49	0,28
	• nad 3 m	0,43	0,20

Poznámky k tab. F.2 ČSN 73 0540-3

- 1) Při jednoduchém výpočtu lze uvažovat konstrukce přilehlé k zemině jednak obvodovým pásem do 1 m od vnějšího povrchu terénu u konstrukce, jednak zbývající vzdálenější plochou konstrukce pod terénem s teplotními činiteli, které podle tabulky platí pro průměrnou vzdálenost této zbývající plochy terénu.
- 2) Pro jiné případy nebo přesněji lze činitele teplotní redukce stanovit podle ČSN EN 12831
- 3) Částečně vytápěné prostory jsou s teplotou podle poznámky 9 k tabulce 3 v ČSN 73 0540-2



Tepelná čerpadla voda/voda, země/voda
AquaMaster

Technické údaje AQ30Z

Výkonové údaje

		B0W35*	B0W50	W10W35*	W10W50	B-5W35
Topný výkon	kW	11.4	10.7	14.9	13.8	9.7
Chladicí výkon	kW	8.9	7.0	12.2	10.1	7.1
Příkon	kW	2.6	3.7	2.7	3.8	2.6
Topný faktor	-	4.4	2.9	5.5	3.7	3.7
Provozní proud	A	4.7	6.5	5.0	6.6	4.7

Kompresor

Typ	Scroll Sanyo	
Otáčky	2900	1/min
Náplň Poe. Oleje	1.7	l
Proud LRC***	48	A
Max. prov. Proud	11.2	A

Výparník

Typ	Deskový nerezový	
Materiál	AISI316	
Průtok vody (W/W)	0.81	kg/s
Minimální průtok	0.73	kg/s
Průtok směsi (B/W)	0.56	kg/s
Minimální průtok	0.42	kg/s
Teplotní rozdíl	3	K
Vnitřní objem	3.0	l
Max. přetlak vody	250	kPa
Max. přetlak chladiva	2.8	MPa
Externí tlak čerpadla	2.8	m
Příkon čerpadla max.	150	W

Kondenzátor

Typ	Deskový nerezový	
Materiál	AISI316	
Průtok topné vody	0.32	kg/s
Minimální průtok	0.26	kg/s
Teplotní rozdíl	8	K
Vnitřní objem	3.2	l
Max. přetlak vody	250	kPa
Max. přetlak chladiva	2.8	MPa
Externí tlak čerpadla	3.0	m
Příkon čerpadla max.	100	W

Chladicí okruh

Chladivo	R407c	
Náplň	1.9	kg

Elektrokotel (na přání)

Topný výkon	4.5-7.5	kW
-------------	---------	----

Regulace

Regulátor	pCO5	
EEV	Ano	
Čidlo topné vody	Ano	
Čidlo Mix / výstup	Ano, 2x	
Čidlo TUV / výstup	Ano	
Venkovní čidlo	Ano	
Ekvitermní regulace	Ano	
Chladivo	2xPT	

Napájení

Napětí	3x400	V
Frekvence	50	Hz
Max. proud	13	A

Připojení a rozměry

Topná voda, Směs	1, 1	"OD
Výš. x Šíř. x Hl.	120x56x72	cm
Hmotnost	160	kg

Limitní provozní parametry

Přetlak vody max.	0.25	MPa
Přetlak chladiva	2.8	MPa
Směs min/max	-5/+20	°C
Voda min/max	20/60	°C

*B0W35, ČSN EN14511, dT topná voda = 5K

"B0" teplota směsi 0°C

"W35" výstupní teplota vody 35°C

Tolerance výkonových údajů dle EN14511

*** Proud při zablokovaném rotoru

Ostatní teplotní podmínky dle EN255

Příloha 7 – Vyhodnocení nákladů na elektrickou energii, vstupy. Zdroj: vlastní tvorba na veřejně dostupném portálu: <http://kalkulator.tzb-info.cz/cz/dodavka-elektricke-energie-zadani-spotreby?kraj=t>

Aktuální parametry pro porovnání cen (počet nabídek: 47)
 VT: 425,14 kWh, NT: 4 874,86 kWh, sazba: D57d, jistič nad 3x20 A do 3x25 A včetně (25 A, 3 fáze), region: Ostrava-město, Moravskoslezský kraj, distribuční území "ČEZ", aktuální ceníky

Změnit parametry spotřeby pro porovnání

Ceníky: Aktuální ceny Historické ceny
 Zobrazit pouze dostupné ceníky

Kraj: Moravskoslezský kraj
 Okres: Ostrava-město (distribuční území "ČEZ")
 Sazba: D57d - Dvoutarifová sazba pro vytápění (příznána od 1. 4. 2016)
 Jistič: jistič nad 3x20 A do 3x25 A včetně
 Proudová hodnota jističe: 25 A
 Počet fází: 3
 Stávající dodavatel: ČEZ Prodej / COMFORT

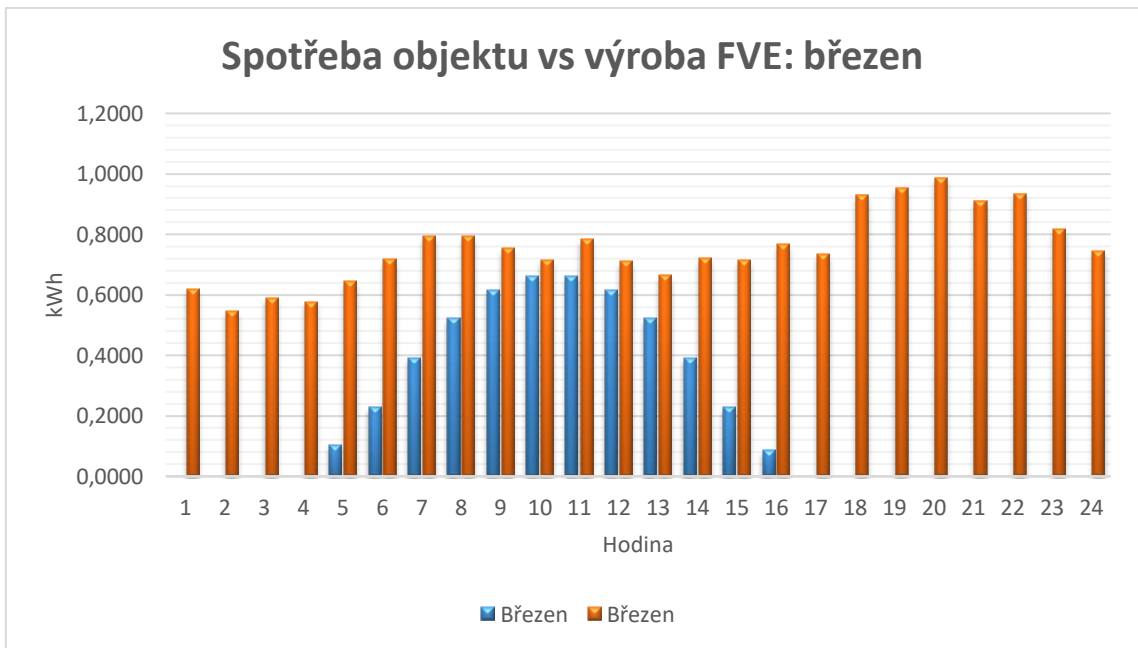
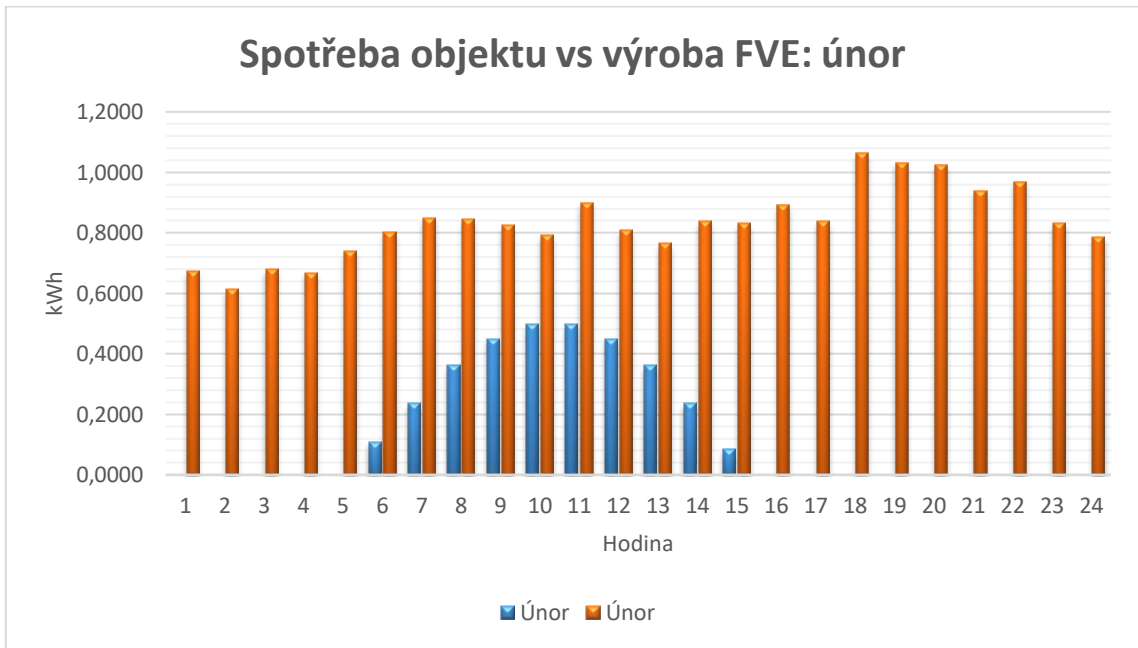
Spotřeba
 Spotřeba VT za období (rok): 425,14 kWh
 Spotřeba NT za období (rok): 4874,86 kWh

Porovnat nabídky

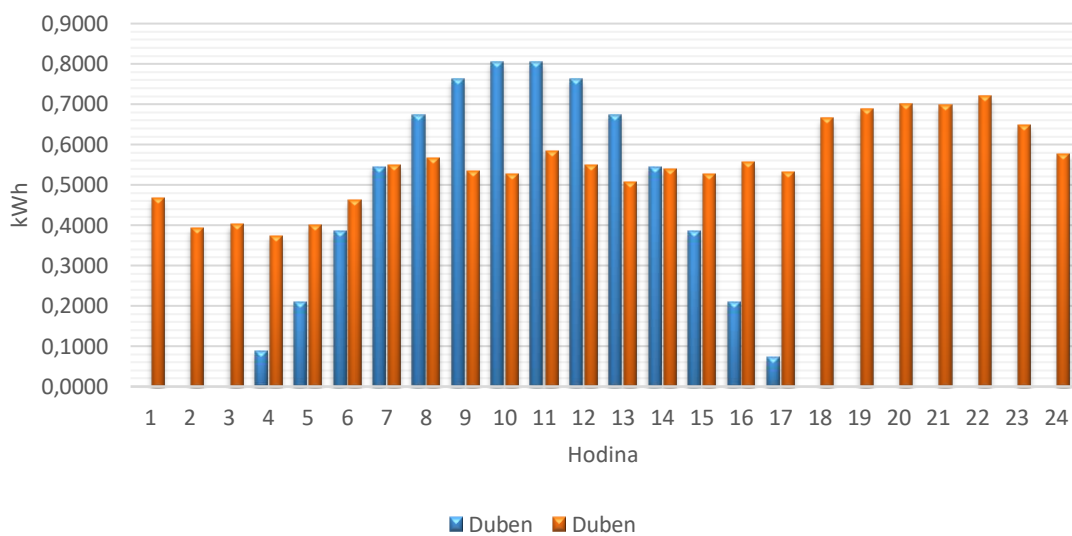
Příloha 8 – Výroba FV systému, P_{inst} = 1 kWp. Zdroj: vlastní tvorba.

Výroba [kWh]												
Hodina	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0317	0,0357	0,0345	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0385	0,0698	0,0867	0,0798	0,0480	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5	0,0000	0,0000	0,0459	0,0922	0,1446	0,1544	0,1537	0,1117	0,0453	0,0000	0,0000	0,0000
6	0,0000	0,0466	0,1005	0,1682	0,2226	0,2225	0,2301	0,1897	0,1156	0,0597	0,0233	0,0000
7	0,0446	0,1030	0,1710	0,2384	0,2920	0,2826	0,2987	0,2622	0,1863	0,1331	0,0524	0,0356
8	0,0903	0,1578	0,2286	0,2943	0,3471	0,3298	0,3534	0,3204	0,2458	0,1982	0,0962	0,0661
9	0,1238	0,1967	0,2688	0,3329	0,3850	0,3617	0,3904	0,3609	0,2878	0,2449	0,1282	0,0909
10	0,1411	0,2168	0,2895	0,3522	0,4038	0,3776	0,4094	0,3812	0,3097	0,2692	0,1447	0,1030
11	0,1411	0,2168	0,2895	0,3522	0,4038	0,3776	0,4094	0,3812	0,3097	0,2692	0,1447	0,1030
12	0,1238	0,1967	0,2688	0,3329	0,3850	0,3617	0,3904	0,3609	0,2878	0,2449	0,1282	0,0909
13	0,0903	0,1578	0,2286	0,2943	0,3471	0,3298	0,3534	0,3204	0,2458	0,1982	0,0962	0,0661
14	0,0432	0,1030	0,1710	0,2384	0,2920	0,2826	0,2987	0,2622	0,1863	0,1331	0,0524	0,0289
15	0,0132	0,0377	0,1005	0,1682	0,2226	0,2225	0,2301	0,1897	0,1156	0,0597	0,0153	0,0000
16	0,0000	0,0000	0,0377	0,0922	0,1446	0,1544	0,1537	0,1117	0,0451	0,0160	0,0000	0,0000
17	0,0000	0,0000	0,0000	0,0315	0,0698	0,0867	0,0798	0,0409	0,0094	0,0000	0,0000	0,0000
18	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0255	0,0300	0,0285	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
19	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
20	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
21	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
22	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
23	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
24	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

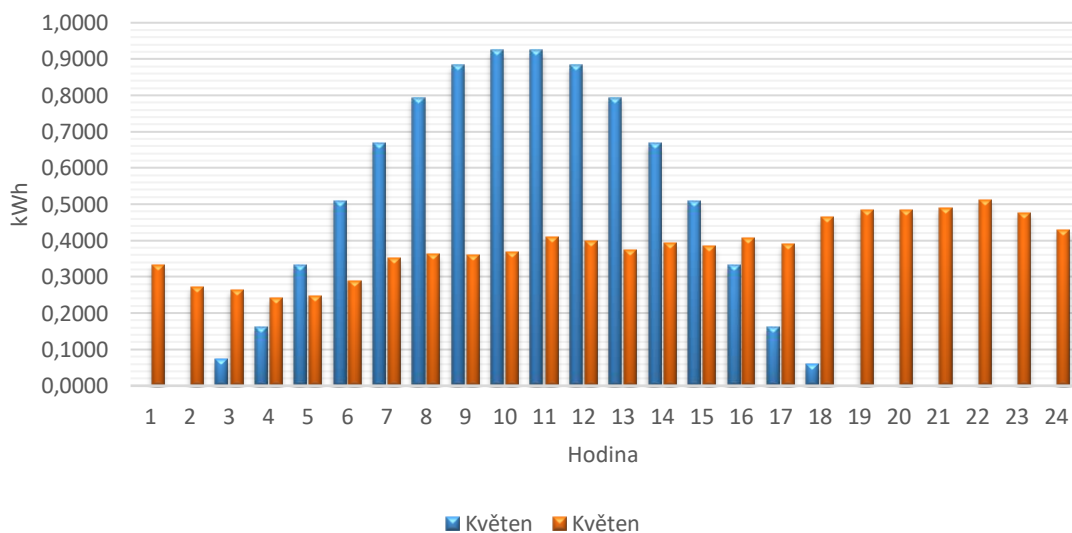
Příloha 11 – Spotřeba objektu (červená) vs. Výroba FVE (modrá), únor-červen a srpen-prosinec pro $P_{inst} = 2,29 \text{ kWp}$.
Zdroj: vlastní tvorba.



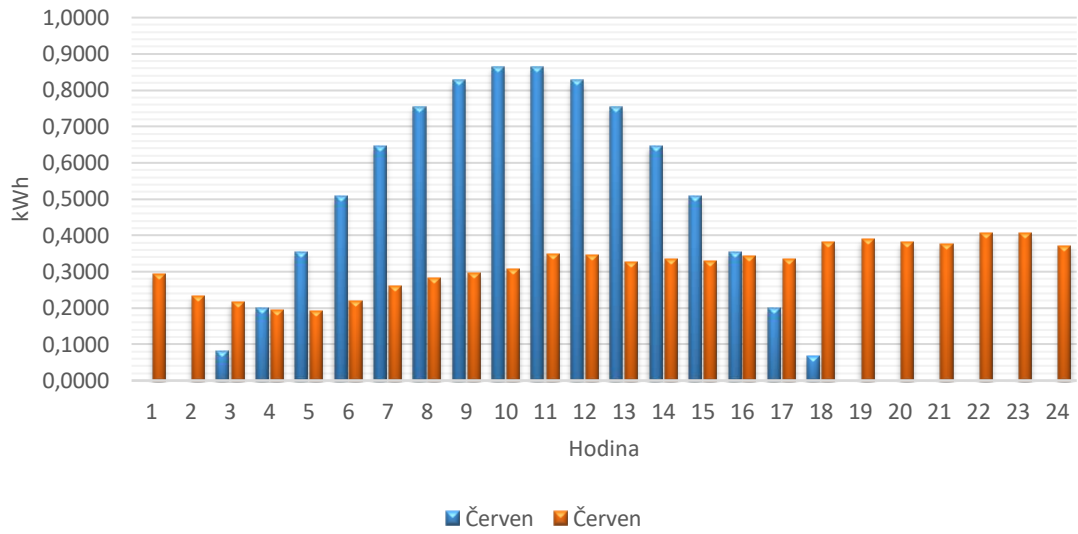
Spotřeba objektu vs výroba FVE: duben



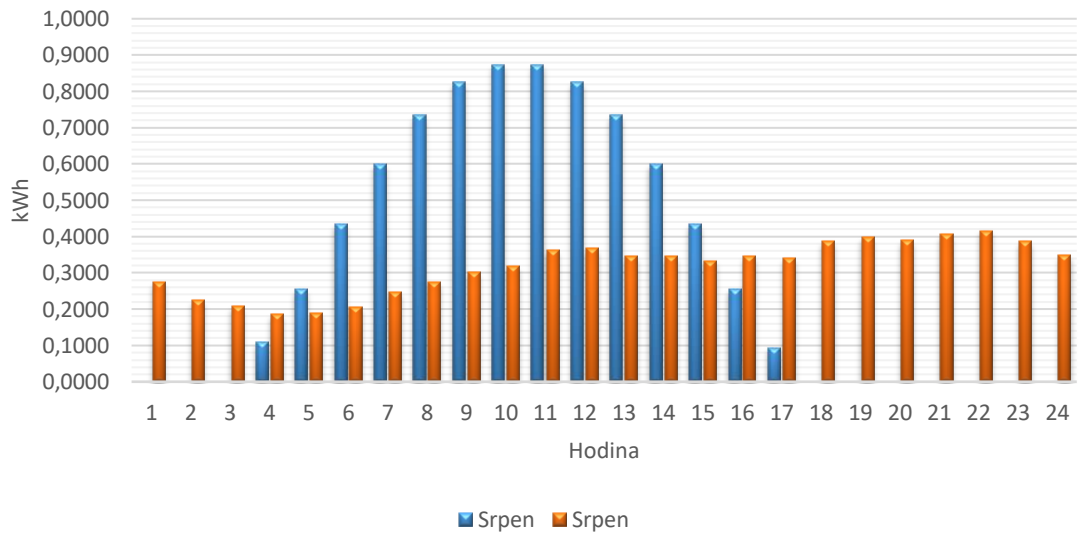
Spotřeba objektu vs výroba FVE: květen



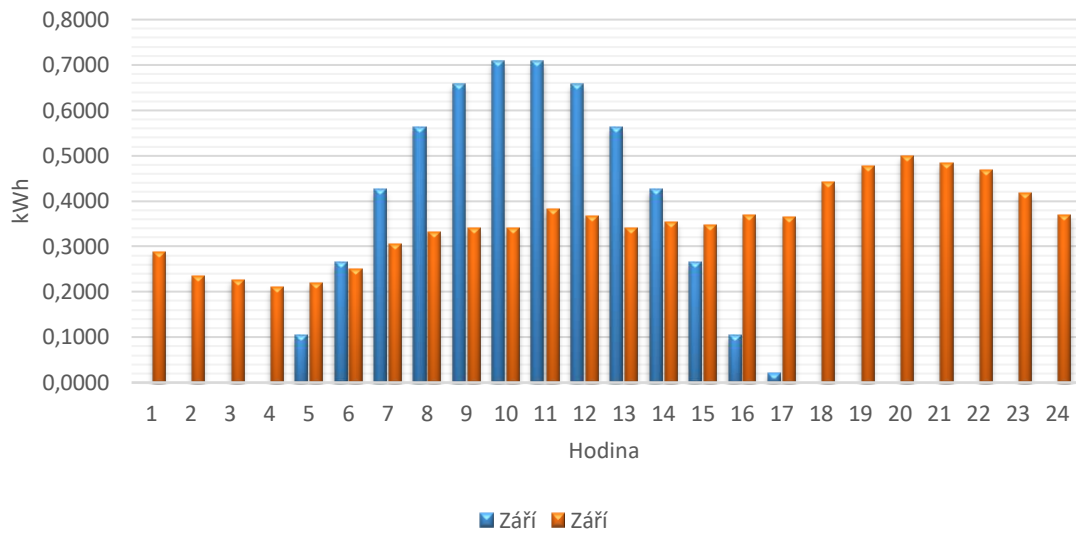
Spotřeba objektu vs výroba FVE: červen



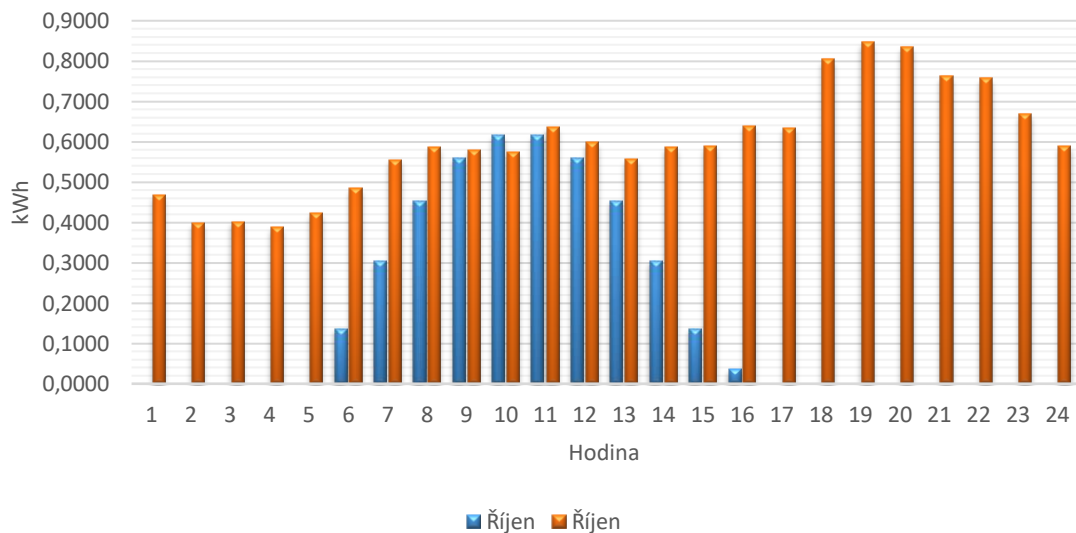
Spotřeba objektu vs výroba FVE: srpen



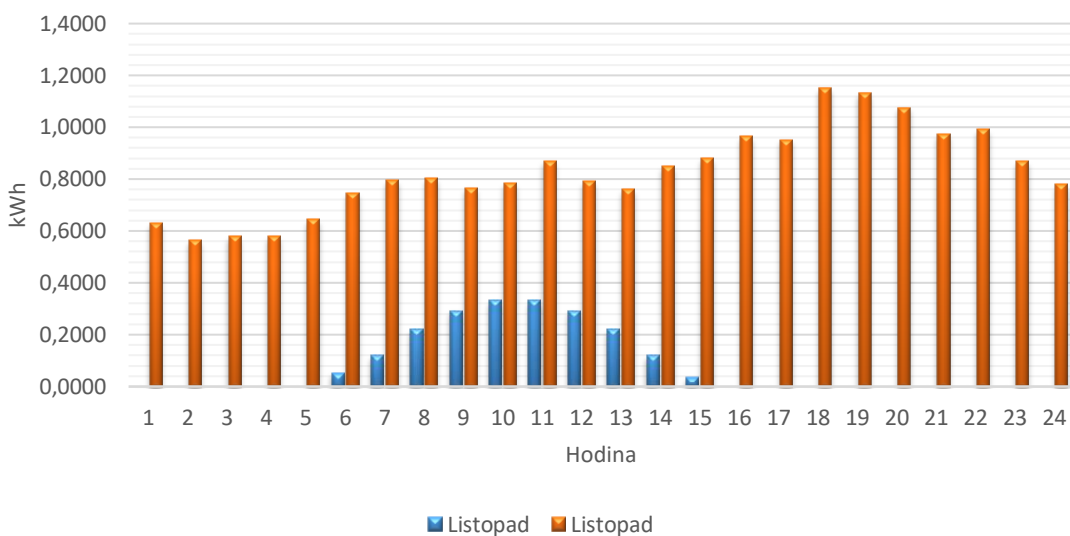
Spotřeba objektu vs výroba FVE: září



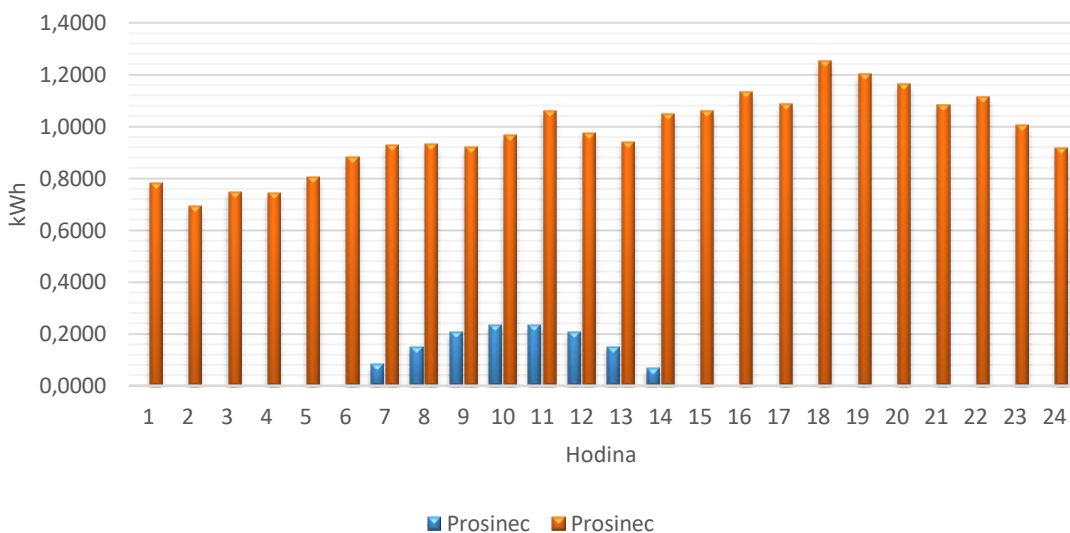
Spotřeba objektu vs výroba FVE: říjen



Spotřeba objektu vs výroba FVE: listopad



Spotřeba objektu vs výroba FVE: prosinec



Příloha 12 – FVE s akumulací přebytků energie do baterie. Zdroj: vlastní tvorba.

3. Vstupní údaje - informace o systému					
Panel SUNPOWER, 327 W	9 675 Kč	Počet	7	Celkem	67 724 Kč
Výkon panelu [W]	327	x	x	x	x
Instalovaný výkon [kWp]	2,29	x	x	x	x
SolarEdge střídač 3F SE5K	27 517 Kč	Počet	1	Celkem	27 517 Kč
Baterie BYD, 2,4 kWh	50 700 Kč	Počet	2	Celkem	101 400 Kč
Konstrukce	12 176 Kč	Počet	1	Celkem	12 176 Kč
Kabeláž, rozvaděče NN, ochrany	11 992,74 Kč	Počet	1	Celkem	11 992,74 Kč
PD, revize	14 955,57 Kč	Počet	1	Celkem	14 955,57 Kč
Wattrouter	6 646,92 Kč	Počet	1	Celkem	6 646,92 Kč
EDG Power optimizér P350	1 161,86 Kč	Počet	7	Celkem	8 133,02 Kč
	0,00 Kč	Počet	0	Celkem	0,00 Kč
	0,00 Kč	Počet	0	Celkem	0,00 Kč
	0,00 Kč	Počet	0	Celkem	0,00 Kč
	0,00 Kč	Počet	0	Celkem	0,00 Kč
	0,00 Kč	Počet	0	Celkem	0,00 Kč
	0,00 Kč	Počet	0	Celkem	0,00 Kč
	0,00 Kč	Počet	0	Celkem	0,00 Kč
	0,00 Kč	Počet	0	Celkem	0,00 Kč
Investice celkem					250 546 Kč

Certificate

valid until Dec 31st, 2011

Component suitable for
Passive Houses: **Heat recovery unit**


Manufacturer: J.E. StorkAir (NL)

Name of product: **Zehnder ComfoAir 350**
(Zehnder Comfo D 350, G90-380, WHR 930)


The following criteria were checked for the award of this certificate:

- 1) **Passive House Thermal Comfort Criterion:**
A minimum supply air temperature of 16.5 °C is achieved at an ambient temperature of -10 °C.
Reasoning: In Passive Houses there is no need to install radiators on exterior walls. In order to avoid discomfort due to exposure to cold air, the supply air temperature must not sink below a minimum value.
- 2) **Efficiency Criterion (heat):**
The effective dry heat recovery rate, determined at an ambient air temperature between -15 and 10 °C, dry extraction air (21 °C) and with balanced mass flows, must be greater than
 $\eta_{HR,eff} \geq 75\%$ (in this case: 84%).
- 3) **Efficiency Criterion (electricity):**
The unit's total specific electric power consumption for the operating levels applied in Passive Houses must not exceed 0,45 W/(m³/h), for the supply air delivered at design mass flow (in this case: 0.29 W/(m³/h), under conditions described in the appendix).
- 4) **Airtightness and thermal insulation:**
The interior and exterior air leakage flow rates must not exceed 3 % of the nominal extraction air flow rate. (Requirements and verification are described in the certificate's appendix.)
- 5) **Balancing and controllability:**
(Requirements and verification are described in the certificate's appendix.)
- 6) **Sound insulation:** The certificate is only valid with the restriction of installation in a separate room for building services.
The required sound pressure level of 35 dB(A) in the installation space with an equivalent absorption area of 4 m² is met, sound levels of < 25 dB(A) in living spaces and < 30 dB(A) in functional spaces are achieved with sound absorbers. (Requirements and verification are described in the certificate's appendix.)
- 7) **Room air hygiene:**
If the unit and all components are installed and operated according to the manufacturer's instructions, the unit will provide perfectly hygienic supply air. (Requirements and verification are described in the certificate's appendix.)
- 8) **Anti-freeze protection:** (Requirements and verification are described in the certificate's appendix.)

**Passivhaus
Institut
Dr. Wolfgang Feist
Rheinstraße 44/46
D-64283 Darmstadt**



The certificate is to be used as follows:

<p>COMPONENT suitable for PASSIVE HOUSES Dr. Wolfgang Feist</p>		<p>Heat recovery: Heat recovery rate (effective): 84 % Electric efficiency: 0.29 Wh/m³</p>
---	---	--

8. Elektronické přílohy

Př. E 1 Výpočty a pomocné tabulky	<i>Výpočty_a_tabulky.xlsx</i>
Př. E 2 PENB RD v Ostravě	<i>PENB_RD.xls</i>
Př. E 3 PENB RD v Ostravě, varianta s rekuperací	<i>PENB_RD_rekuperace.xls</i>
Př. E 4 PENB RD v Ostravě, varianta v pasivním standardu	<i>PENB_RD_pasiv.xls</i>
Př. E 5 Model spotřeby RD plus varianty s FVE	<i>TDD2016_RD_a_FVE.xlsx</i>
Př. E 6 Model spotřeby RD s rekuperací	<i>TDD2016_RD_rekuperace.xlsx</i>
Př. E 7 Model spotřeby RD v pasivním standardu	<i>TDD2016_RD_pasiv.xlsx</i>