ČESKO VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Výpočet a ekonomické zhodnocení malé FVE

Economic Appraisal and Calculation of Small PVP

Bakalářská práce

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

Vedoucí práce: Ing. Martin Beneš, PhD.

Filip Bělský

Praha 2016

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Bělský Filip**

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

Název tématu:

Výpočet a ekonomické zhodnocení malé FVE

Pokyny pro vypracování:
1. Malá FVE, technické řešení
2. Ekonomické prostředí provozu malé FVE
3. Možnosti využití malé FVE
3. Ekonomické hodnocení projektu malé FVE

Seznam odborné literatury:
1. Gregersen S.: Build Your Own Low-Budget Solar Power System. CSIPP, 2014.
2. Häberlin H.: Photovoltaics Systems Design and Practise. John Wiley&Sons, 2012.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Beneš, Ph.D.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2016/2017

L.S.

Prof.Ing. Jaroslav Knápek, CSc. — vedoucí katedry

Prof.Ing. Pavel Ripka, CSc. — děkan

V Praze dne 10.2.2016

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 19. 05. 2016 . . . . . .

Filip Bělský

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Martinu Benešovi, PhD. za věcné rady a cenný čas, který mi věnoval během tvorby této práce. Dále děkuji pánům Doc. Ing. Jiřímu Vašíčkovi, CSc. a také Ing. Tomášovi Králíkovi za užitečné poznámky. Mé poděkování také patří Ing. Romaně Kožušníkové za podnětné rady.

Abstrakt

Hlavním cílem této práce je provést ekonomický výpočet a zhodnocení instalace malé FVE. Teoretická část se věnuje správnému výběru technologie a montáže, které se běžně používají v malých FVE. V této části práce je také popsán odhadnutý denní diagram spotřeby (ODDZ), u kterého je provedena optimalizace, tak aby bylo dosaženo nejlepších výsledků. Následující kapitoly popisují možnosti využití a právní situaci pro provozování malých FVE v České republice. V praktické části je provedena citlivostní analýza získaných a vypočtených dat, která vede k dosažení požadovaných výstupů a investičních ukazatelů. Pro zpracování dat a jejich následnou analýzu bylo využito programu Microsoft Excel. V závěru jsou shrnuty výsledky z analytické části práce spolu s výhledy do budoucna.

Klíčové slova

fotovoltaika, FVE, obnovitelné zdroje energie, OZE, energetický regulační úřad, ERÚ

Abstract

The main objective of this thesis is to conduct an economical calculation and an appraisal of a small PVP (PVS). The theoretical part focuses on a proper selection of technologies and installation types that are commonly used in small PVPs. This section also describes the estimated daily consumption diagram (EDCD), which undergoes a further optimization, in order to achieve best results. The following chapters deal with the legal situation of operating small PVPs in the Czech Republic and also describe the use of small PVPs. The practical part consists of sensitivity analysis and calculations of the acquired data, which both lead to achieving the desired outcomes and investment indicators. All the analysis and calculations were carried out using Microsoft Excel. In conclusion comes a brief summary of the results mentioned above in the analytical part, along with future prospects.

Key Words

Photovoltaics, PVP, Renewable Energy Sources, RES, Energy Regulatory Office, ERÚ

Obsah

Abstrakt 9
Abstract 9
Obsah 11
1. Úvod 13
2. Obnovitelné zdroje, technické řešení 15
2.1 Lokalita RD a plocha pro FVE 15
2.2 Energetický roční odhad a diagram zatížení 16
2.3 Provedení fotovoltaických panelů 20
2.4 Porovnání fotovoltaických panelů 21
2.5 Výběr panelů a výpočet instalovaného výkonu 21
2.6 Celková cena variant FVE 22
2.7 Výběr správného osazení RD 24
2.8 Potenciál lokality pro FVE 25
2.9 Garance a trvanlivost 27
3. Ekonomické prostředí provozu fotovoltaických panelů na RD 29
3.1 Právní situace Zelené úsporám pro RD 30
3.2 Současný systém dotací 30
3.3 Nová tarifní struktura 2016 32
3.4 Daňová povinnost 33
3.5 Diskontní míra 33
4. Možnosti využití malé FVE 35
4.1 Varianta přímého připojení na DS 35
4.2 Varianta vlastní spotřeby bez připojení k DS 35
4.3 Varianta kombinované spotřeby 36
4.4 Varianta s akumulací energie 36
5. Ekonomické zhodnocení projektu 39
5.1 Výpočet vyrobené energie 39
5.2 Vyrobená energie 40
5.3 OPEX spojené s provozem FVE 42
5.4 Průběh výroby elektrické energie malou FVE 43
5.5 Cena elektrické energie – nulová investice 45
5.6 Varianta přímého prodeje do sítě 46

5.7 Varianta s kombinovanou spotřebou 47
5.8 Zhodnocení variant 50
6. Závěr 53
Seznam obrázků 55
Seznam tabulek 57
Seznam příloh 59
Seznam symbolů a zkratek 61
Použitá literatura 63

1. Úvod

Obnovitelné zdroje energie chápeme jako alternativu ke standardním fosilním palivům a tedy jako zdroje nevyčerpatelné. Mezi OZE patří energie větru, energie půdy, geotermální energie, energie vzduchu, energie vody, energie biomasy a bioplynu a v neposlední řadě také energie slunečního záření.

V úvodu je potřeba rozlišit termín solární panel, který reprezentuje dva v celku odlišné druhy zařízení. Prvním je fotovoltaický panel, která slouží k výrobě elektřiny a to pomocí fotoelektrického jevu, který vzniká dopadáním fotonů na PN přechod fotovoltaického panelu. Druhým panelem je panel termický, který slouží k ohřevu teplé vody, případně vzduchu, zde dochází k přímému ohřevu pracovní kapaliny.

Základní otázkou je jak zajistit energetickou soběstačnost České republiky, která je v dnešní době závislá na uhlí a uranu. Jednou z odpovědí jsou OZE a v tomto případě právě fotovoltaické elektrárny, které čerpají energii ze Slunce, aniž by byly závislé na ekonomickém vývoji mezinárodních trhů či válečných konfliktů, jako se tomu může stát u dodávek plynu, ropy a ostatních fosilních paliv. Přípojná kapacita, která limituje ostatní OZE, jako jsou například vodní elektrárny či větrné z důvodu provozní kapacit řek a míst s dobrými povětrnostními podmínkami, je prakticky neomezená, protože podle teoretického odhadu, daných výkonem Slunce a průměrnou vzdáleností Země od Slunce, dopadá na Zemi 20 000 krát více záření, než jsme v současnosti schopni zpracovat a využít. Proto se stavba malých FVE jeví jako ideální volba pro moderní RD.

Hlavním cílem této práce je demonstrovat zda se projekt malé FVE vyplatí či nikoli. Dále odpověď na otázky ohledně investičních dotací a tarifních struktur. K těmto závěrům je zapotřebí velké množství výpočtů a dat, které byly provedeny v Microsoft Excel přiložené k této práci. V závislosti na uvedených faktech a výpočtech jsou v práci uvedené citlivostní analýzy, které otázku projektu malé FVE přibližují.

Z ekologického hlediska je v dnešní energetice kladen velký důraz na čistotu energie a tedy na co nejmenší produkci CO_2 a dalších škodlivých skleníkových plynů do ovzduší, které narušují souvislou vrstvu 0_3 a tím vystavují veškerou floru a faunu zvýšenému záření UV.

V neposlední řadě členství v EU (Evropské unii) zavazuje Českou republiku ke splnění cílů do roku 2020 a to 13 % z podílu energie obnovitelných zdrojů a 10 % podílu energie v dopravě. „Zpracovaný a aktualizovaný Národní akční plán České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů předpokládá v roce 2020 dosažení 14 % podílu energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie a 10.8 % podílu energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě v dopravě.“ [1]

A spolu se vzrůstající spotřebou elektrické energie, nárůstem ceny a snahou o co nejmenší environmentální dopad se fotovoltaika stává zásadním zdrojem elektrické energie v moderních RD.

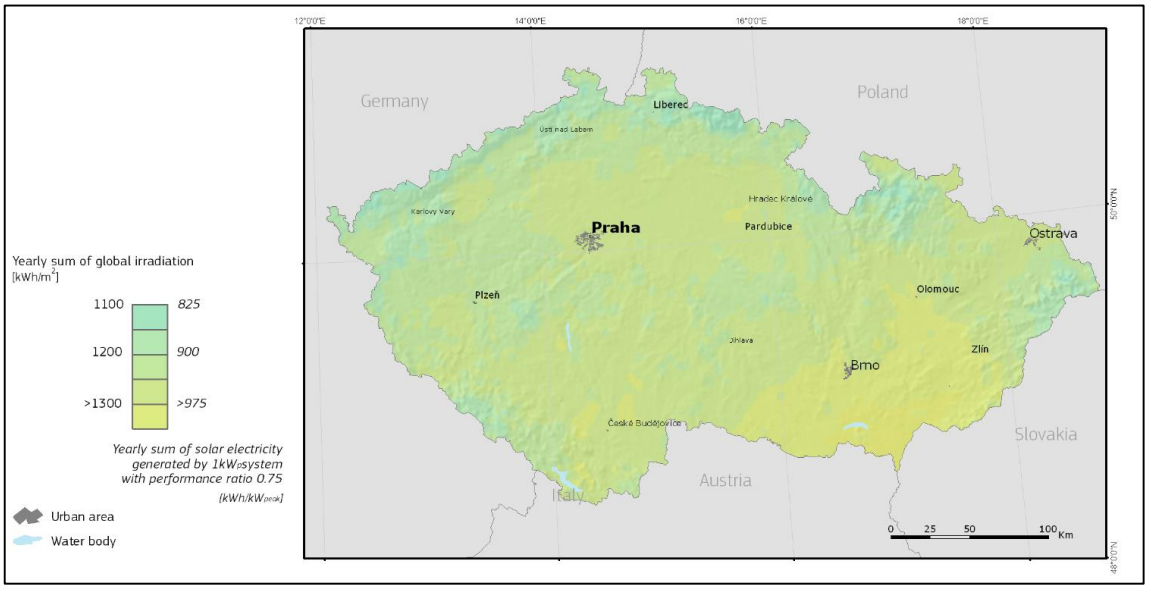
2. Obnovitelné zdroje, technické řešení

Tato kapitola se zabývá technickou a energetickou fází projektu. Nezbytnou částí je správný výběr fotovoltaických panelů, tedy zhodnocení kvality, dostupnosti, provedení, montáže, druhy technologie, délky životnosti panelů a výběr dalších zapojených zařízení. V neposlední řadě je potřeba zvážit kritérium výběru správné technologie, a to podle měřítek poměr cena výkon s garancí dlouhodobé stability výroby a deklarované maximální degradace panelů po dobu 20, respektive v některých případech až 25 let.

Pro správný výběr instalovaného výkonu FVE je nejprve potřeba zohlednit vlastní spotřebu RD a ostatních zařízení na pozemku. Dále je nutno určit denní diagram zatížení, roční spotřebu energie (energetický odhad) a plochu, na které je možné instalovat fotovoltaické panely.

2.1 Lokalita RD a plocha pro FVE

Výběr lokality je především vázán na roční dopad slunečního záření v místě realizace projektu a také úhlu inklinace panelů. Z dat Joint Reseach Centre Institut for Energy and Transport, Renewable Energy Unit, podporovaného Evropskou Unií, je patrné, že nejvíce záření dopadá v průběhu roku na Jižní Moravu až po Olomouc. V Čechách pak v oblasti Českých Budějovic, Pardubic a také v neposlední řadě v Praze a okolí.

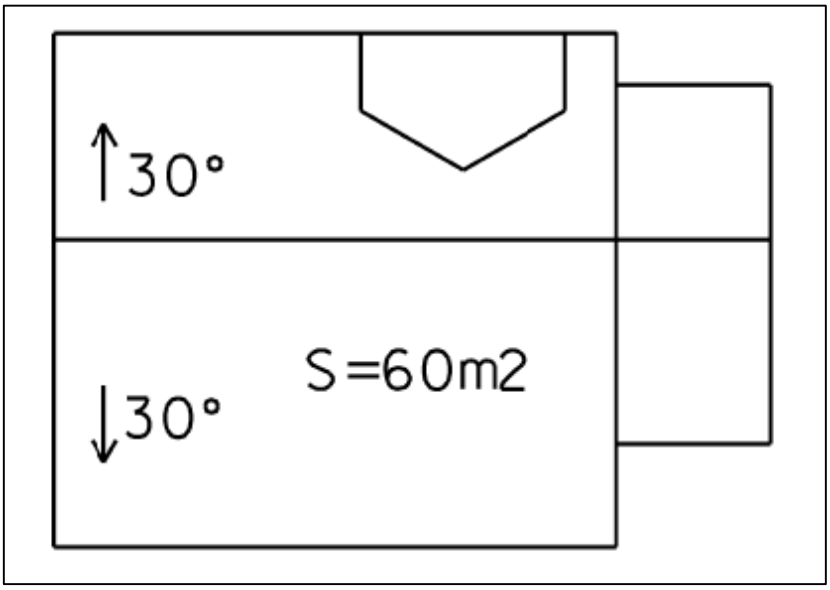


Obrázek 1 – Roční suma solární energie generována 1 kW systémem [Zdroj PVGis]

Vlastní výpočet a hodnocení investice bude vázáno na objekt RD v Jesenici u Prahy (okres Praha – západ), který spadá do výkonnějšího spektra možností České republiky.

V mém případě se jedná o větší část jižní strany střechy budovy, která disponuje sklonem 30 °. Tím splňuje ideální podmínky instalace FVE a to s maximální možnou plochou osazení až 60 m^2.

Obrázek 2 – Ortofoto pozemku a RD [Zdroj Google Maps]



Obrázek 3 – Rozměry střechy RD

2.2 Energetický roční odhad a diagram zatížení

Celý rozsah investice je limitován několika aspekty. Prvním z nich je jednoznačně celková zastavitelná plocha, protože není možné zastavět větší plochu, než máme k dispozici. Dalším aspektem je váha celého instalovaného systému fotovoltaických panelů, protože pokud bych střechu výrazně přetížil, mohlo by dojít k narušení statiky střechy a k následnému kolapsu budovy. S ohledem na celkovou hmotnost vybrané instalace, tato situace nenastane, ale je potřeba ji brát v potaz u výraznějších či větších instalací, případně pokud se bude stavět v blízkosti nosné hranice střechy.

V neposlední řadě je důležitým kritériem pro výběr malé FVE vlastní spotřeba, na kterou budu systém dimenzovat. Ve výsledku pak zvolím ideální kombinaci váhy, rozměru a ceny na jednotku výkonu celé FVE.

Z logiky věci plyne, že pokud bych dokázal identifikovat spotřebu jednotlivých spotřebičů v domě, pak je možné tuto spotřebu lépe distribuovat v rámci dne a tím výrazně ušetřit, nebo používat spotřebiče s menším nárokem na elektrickou energii, případně napájené z jiných zdrojů. Jedná se například o spalovací varianty, jako je zemní plyn nebo biomasa. [2]

Ke stanovení parametrů výpočtů je vhodné znát parametry stávajících součástí sítě. To znamená veškeré spotřebiče o vysokém nominálním výkonu a také spotřebiče, jež nemusí mít vysoký jmenovitý výkon, ale běží dlouhodobě, například WiFi routery, ledničky a podobné spotřebiče, které sice mají relativně malou hodinovou spotřebu, ale běží kontinuálně po celý rok.

V tabulce číslo 2 je uveden energetický odhad RD, který zohledňuje průměrné roční spotřeby spotřebičů, a to jak i v letních měsících, kde není velká potřeba svítit, tak naopak v zimních měsících, v kterých se svítí dlouhodobě.

Tabulka číslo 1 poukazuje na rozdíl spotřeby elektrické energie v letních a zimních obdobích.

Denní osvětlení		
Celoroční průměr	**12.78**	[kWh]
Zimní osvětlení	1.17	[kWh]
Letní osvětlení	0.39	[kWh]
Rozdíl	0.78	[kWh]
Letní průměr	**12.01**	[kWh]
Zimní průměr	**13.56**	[kWh]

Tabulka 1 – Rozdíl ve spotřebě elektrické energie za osvětlení

Dále je potřeba zmínit, že RD je vybaven osvětlením technologie LED, takže celková spotřeba osvětlení v domě je relativně marginální vůči klasickému žárovkovému provedení. O jejich rozdílných investičních cenách nemá cenu diskutovat, protože se jedná o utopené náklady (Sunk Cost). Pouze garáž a venkovní osvětlení mají klasické 100 W žárovky, a to kvůli hodnotám světelného toku, kde LED žárovky s tímto výkonem jsou stále relativně drahé.

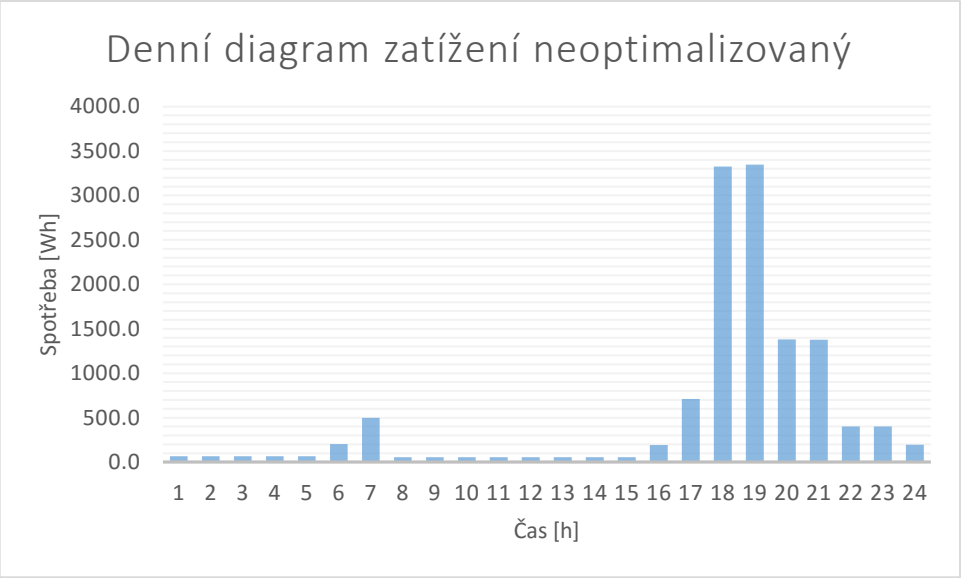
Spotřebič	Příkon [W]	Čas denně [h]	Roční spotřeba [kWh]
Venkovní osvětlení	800	0.50	146.10
Osvětlení vstup	15	0.50	2.74
Osvětlení pracovna	15	2.00	10.96
Osvětlení obývací pokoj	30	5.00	54.79
Osvětlení kuchyň	20	3.00	21.92
Osvětlení schody	20	0.50	3.65
Osvětlení chodba 1	10	1.00	3.65
Osvětlení chodba 2	15	0.75	4.11
Osvětlení koupelna 1	16.8	1.00	6.14
Osvětlení koupelna 2	16.8	2.00	12.27
Osvětlení pokoj 1	15	2.00	10.96
Osvětlení pokoj 2	15	6.00	32.87
Osvětlení pokoj 3	20	6.00	43.83
Osvětlení garáž	200	0.50	36.53
Noční osvětlení	12	8.00	35.06
Venkovní vrata	160	0.20	11.69
Pračka	2400	0.75	657.45
Sušička prádla	1200	0.25	109.58
Myčka nádobí	2400	0.75	657.45
Lednice	29.3	24.00	256.84
Mikrovlná trouba	1700	0.05	31.05
Gril	2500	0.20	182.63
Herní konzole	250	4.00	365.25
Stolní PC	200	2.50	182.63
Herní stolní PC	750	4.00	1095.75
Plasmová televize	250	3.00	273.94
LCD televize 2x	140	4.00	204.54
WiFi router	7.8	24.00	68.37
Ostatní multimediální zařízení	100	4.00	146.10
Bilanční suma			**4668.83**

Tabulka 2 – Spotřební odhad RD

Z tabulky je patrné, že největší podíl na spotřebě má výpočetní a zábavní technika v podobě herní konzole a osobních počítačů, a také pračka, myčka a sušička. Část pojmenovaná ostatní multimediální zařízení v sobě za komponovává například DVD přehrávače, satelitní přijímač a nabíjení různých periferních zařízení jako chytrý telefon, tablet, tiskárna a laptop.

Celková odhadnutá roční spotřeba elektrické energie je 4.669 MWh.

Odhadnutý denní diagram spotřeby elektrické energie je na obrázku 4, který reprezentuje dnešní trend.



Obrázek 4 – Odhadnutý denní diagram zatížení bez optimalizace

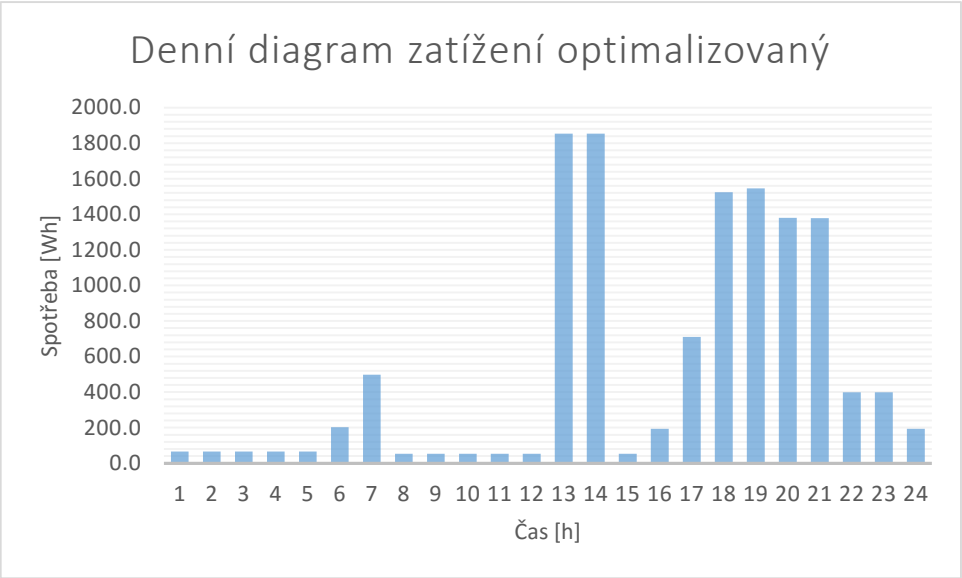
Z obrázku se dají vyčíst dvě maxima, jedná se o ranní maximum, které je kolem sedmé hodiny ranní. V tuto dobu se zapíná většina osvětlení, rychlovarných konvic, kávovarů a podobných zařízení. Následně je RD vyklizen a dům přechází do stand-by režimu s minimální možnou spotřebou elektrické energie.

Druhé a mnohonásobně převyšující maximum nastává opět okolo sedmé hodiny, ale večerní. K prve zmíněným spotřebičům se déle zapínají elektrické trouby, televize, herní konzole a počítače.

Denní diagram na obrázku 4 je velmi nelineární, obsahuje relativně mnoho maxim i spousty minim. Tato nelinearita se úplně nehodí, protože nejvíce peněz ušetřím tak, že spotřebuji co nejvíce vlastně vyrobené elektrické energie. Na základě uvedených skutečností jsem se rozhodl spotřebu RD optimalizovat.

FVE vyrábí nejvíce elektrické energie kolem poledne, proto je nejlepší naprogramovat zařízení s velkou spotřebou, aby pracovala v této době, kdy je přebytek elektrické energie. Osvětlení do této části zahrnout nemůžu, protože dům je zpravidla v tuto dobu neobydlený a svítit by bylo tedy zbytečné. Stejné závěry dostanu i pro multimediální zařízení, takže jediným prvkem, který se dá optimalizovat, představuje soubor pračka prádla, myčka nádobí a sušička prádla. Poslední zmíněná bohužel potřebuje zásah člověka, takže ji také musím vyřadit.

V konečné fázi tedy naprogramuji pračku prádla a myčku nádobí, tak aby se zapínaly konsekventně a to v období maxima.



Obrázek 5 – Odhadnutý denní diagram zatížení s optimalizací

Optimalizovaný graf denního diagramu zatížení je znázorněn na obrázku 5. Na rozdíl od neoptimalizované verze, je zde vidět jedno respektive dvě další maxima, a to jsou právě časy, ve kterých bude pracovat pračka prádla a myčka nádobí. Jen tímto lehkých uspořádáním ušetřím až 1 000 CZK ročně za provoz těchto zařízení.

2.3 Provedení fotovoltaických panelů

Výběr vlastních fotovoltaických panelů a technologie je nejdůležitějším aspektem celé technologické části projektu, a proto je jí potřeba věnovat největší pečlivost a zvážit velké množství variant, ať se jedná o rozměry panelů, množství panelů, maximální výkon, životnost, účinnost a její pokles v čase a další.

První aspektem jednotlivých panelů je technologie. Principiálně se jedná o monokrystalické nebo polykrystalické křemíkové panely. To samozřejmě neznamená, že neexistují i jiné technologie, ale tyto patří mezi nejrozšířenější, a tedy i cenově nejdostupnější. Vzhledem k tomu, že se jedná o reálný investiční projekt, je cena investice důležitým bodem této práce. [3]

Druhým aspektem je vlastní výkon panelu, a to jednak P_{max}, tedy maximální možný výkon panelu, ale také cena za Wp, která je nejčastějším ukazatelem teoretické výhodnosti daného panelu.

Třetí bod se váže k zatěžování a opotřebování panelů v čase, a tedy, jak se mění účinnost panelů v jednotlivých letech. S tím je i úzce spojená garance výrobce (respektive prodejce) a záruka na daný výrobek.

Posledním bodem výběru správného panelu jsou ostatní položky. Jedná se například o váhu panelů, odolnost povětrnostním a klimatickým podmínkám. Změna výkonu při výraznějších výkyvech teploty a odolnost vůči prachu a vodě. Vzhledem k prostředí a lokalitě této investice nebude poslednímu bodu dáván velký prostor, protože se nacházíme v kontinentálním klimatu, ve středních Čechách kde nedochází k výrazným extrémům, které by mohly ovlivnit kvalitu a integritu panelů, případně celé FVE.

2.4 Porovnání fotovoltaických panelů

K porovnání jsem vybral 8 druhů fotovoltaických panelů od předních světových výrobců. Jedná se o reprezentativní vzorek poloviny monokrystalických panelů a druhé poloviny polykrystalických. Všechny vzorky byly hodnoceny dle standardních testovacích podmínek (STC), které probíhají při záření 1000 W/m^2 a teplotě okolí 25 °C.

Název	Typ	P_{max} [W]	η [%]	H [mm]	W [mm]	S [m^2]	M [kg]	P [CZK]	CZK/Wp
JC190S-24/Db	Mono	190	14.9	1580	808	1.28	16.0	3550	18.68
Virtus II	Mono	250	15.4	1640	992	1.63	19.0	4433	17.73
QXPV mono	Mono	195	14.2	1640	990	1.62	18.6	2896	14.85
Sharp mono	Mono	290	15.2	1652	994	1.64	19.0	6185	21.33
TSM-PC05	Poly	230	14.1	1650	992	1.64	19.5	3250	14.13
LS200	Poly	245	14.7	1650	1010	1.67	19.0	3590	14.65
Omsun poly	Poly	250	15.2	1640	991	1.63	20.5	3990	15.96
Canadian Solar	Poly	260	16.2	1639	982	1.61	18.0	4433	17.05

Tabulka 3 – Porovnání fotovoltaický panelů

První typem fotovoltaického panelu je JC190S-24/Db 190Wp od firmy ReneSola, jehož jedinou praktickou výhodou je rozměr, který má ze všech panelů nejmenší. Dále fotovoltaický panel Virtus II od stejnojmenné firmy, který poskytuje větší maximální výkon a také lepší účinnost, ale za podmínky výrazného nárůstu plochy.

Mezi další monokrystalické fotovoltaické panely patří QXPV od čínské firmy Ningbo Qixin Solar Electrical Appliance Co., ltd s dobrým poměrem cena výkon. Posledním monokrystalickým fotovoltaickým panelem s nejvyšším maximálním výkonem je Sharp mono 290 W, ale bohužel jeho cena a následně i poměr cena výkon tento panel vyřazují z dalšího uvažování.

Polykrystalický fotovoltaický panel TSM-PC05 od firmy Trina Solar poskytuje záruku 5 let na výrobní vady a 25 let na 80 % výkonu. Fotovoltaické panely od českého výrobce LintechSolar poskytují vysokou kvalitu dílenského zpracování a také záruku 10 let na výrobek a na 90 % výkonu, k tomu ještě 25 let na 80 % výkonu.

Německá značka Omsun nabízí polykrystalické fotovoltaické panely s vysokou účinností a zárukou. Posledním vzorkem je kus od kanadské značky Canadian Solar, který má papírově nejlepší hodnoty a to za velmi příznivou cenu. Jde především o excelentní účinnost, výkonost při velmi malém dopadu UV záření a třídu ochranu IP67 pro dlouhou výdrž proti prachu a vodě.

2.5 Výběr panelů a výpočet instalovaného výkonu

Z výsledků z předchozí podkapitoly je patrné, že obecně jsou polykrystalické panely lepší v poměru cena výkon a zároveň prokazují lepší účinnost, a proto do dalšího uvažování budu brát v potaz panel s nejlepším poměrem ceny k výkonu a to panel od firmy Trina Solar TSM-PC05 se základní cenou 3 250 CZK za kus bez DPH a dražší panel od Canadian Solar s nejlepší účinností a základní cenou 4 433 CZK za kus bez DPH. Variantu panelů od firmy Trina Solar nazvu variantou A a od firmy Canadian Solar variantou B.

Je také nutno zmínit, že dílenské zpracování a kvalita panelů od Canadian Solar je na nejlepší úrovni o čemž svědčí i množství mezinárodních certifikátů a ratingů. [4]

Výrobce	P_{max} [W]	η [-]	S [m^2]	P [CZK]	CZK/Wp
Trina Solar	230	0.141	1.64	3250	14.13
Canadian Solar	260	0.162	1.61	4433	17.05

Výrobce	ks	P_{max} [W]	S [m^2]	P [CZK]	M [kg]
Trina Solar	13	2990	21.278	42250	253.50
Canadian Solar	13	3380	20.923	57629	234.00

Tabulka 4 – Vybrané varianty fotovoltaických panelů a jejich konečný součet

Jak vyplývá z tabulky číslo 4, hlavním kritériem pro výstavbu FVE byl rozměr, tedy zastavěná plocha S, která je v obou případech 21 m^2. Vzhledem k nespojitému řešení a možnosti volit pouze celé kusy s určitou chybou, a to 1.52 % u první varianty a 0.33 % u druhé. Jedná se tedy shodně o 13 kusů fotovoltaických panelů. Fotovoltaické panely Trina Solar mají instalovaný výkon o hodnotě 2.99 kW a Canadian Solar má instalovaný výkon 3.38 kW.

Zastavitelná plocha domu je až teoreticky 52 m^2, kde se největším problémem stává váha systému, který může překročit bezpečnou mez a narušit tak statiku domu. Druhý problém představuje estetika celé FVE, protože zcela pokrytá střecha černými panely není přitažlivá. V případě variant A a B rozměr ani váha nepřevyšují dovolené limity stanovené výběrem objektu v podkapitole 2.1 a obě lze instalovat na RD.

2.6 Celková cena variant FVE

Pro obě varianty osazení je potřeba vybrat další zařízení, protože samostatné fotovoltaické panely by fungovat nedokázaly. Jedná se tedy v první řadě o střídač elektrické energie, který bude přeměňovat stejnosměrnou energii na energii střídavou. Následně je nutná kabeláž a rozvaděč. Fotovoltaické panely potřebují nosné konstrukce, aby mohly být pevně a bezpečně uchyceny na střechu domu.

V poslední řadě se jedná o nehmotné platby, které představují platby za práci na stavbě a práci revizního technika.

Jako střídač jsem vybral třífázový bez transformátorový střídač Fronius Symo 3.7-3-S LIGHT, který je navržen s maximální účinností 98 % a s ohledem na kompaktnost celého systému o váze 16 kg.

Jedná se o rozměry malý moderní střídač maximálním střídavým vstupem 3.85 kW. Maximální výstup je 3.7 kW o standardním napětí 230 V (resp. 184 – 264 V).

Tento střídač je dimenzován na napětí od 200 – 800 V o maximálním proudu 24 A. Cena tohoto zařízení je 26 914 CZK bez DPH. [5]

Obrázek 6 – Střídač Fronius Symo 3.7-3-S Light [Zdroj Obchod Solar]

Mezi další výhody tohoto střídače patří jednoduchá montáž, protože prostor pro připojení je oddělen od výkonového dílu a části jsou pak instalovány samostatně. Důležitá je také kompatibilita s dalšími zařízeními v domácnosti, a to ať výkonovými nebo nevýkonovými. Tento systém podporuje otevřenou datovou komunikaci přes standardní rozhraní ethernet a poskytuje, tak přehled o real-time hodnotách v systému. Poslední nadstandardní vlastností jsou funkce Smart Grids, jmenovitě pak Advanced Grid Features, které řídí optimální výrobu jalové a činné energie. Tento přístroj byl navržen tak, aby nenarušoval stabilní provoz sítě. [5]

Střídač je prakticky jediná část FVE, která v průběhu 25 let výrazně degraduje, a proto se doporučuje samotný střídač v průběhu životnosti nejméně jednou měnit, ale vzhledem k vývoji trhu a cen, není možné kupovat střídač navíc do zásoby, ale je potřeba uvažovat s možnou další investicí do budoucna.

Panel	Trina Solar	Canadian Solar
Počet panelů	13	13
Zastavěná plocha [m^2]	21.28	20.92
Instalovaný výkon [Wp]	3450	3380
Celková cena bez DPH [CZK]	**118664**	**134043**
Z toho DPH [CZK]	24919.44	28149.03
Celková cena DPH [CZK]	**143583.44**	**162192.03**
Panely [CZK]	42250	57629
Střídač [CZK]	26914	26914
Kabely a rozvaděč [CZK]	15000	15000
Nosné konstrukce [CZK]	10000	10000
Zřízení odběrového místa [CZK]	14500	14500
Vstupní revize [CZK]	10000	10000

Tabulka 5 – Celkové investiční náklady na projekt malé FVE

2.7 Výběr správného osazení RD

Kromě kvality panelu je velice důležité správné osazení panelů na střechu domu. Obecně se objekty osazují na jižní stranu, a to ve sklonu od 30 ° do 45 °, pokud má střecha menší sklon nebo je rovná, řešení se dá snadno realizovat pomocí podpěrných systémů bez většího nárůstu ceny, ale v případě většího sklonu než 45° se instalace nedoporučuje. [3]

Další nezbytnou povinností je, aby osvitu panelů nic nebránilo v přímé cestě a tedy aby byl zaručen maximální možný osvit v průběhu roku. Je zde potřeba se zbavit stromů, případně jiných konstrukčních částí, které by mohly zasahovat do proudu světla např. komíny a podobně.

Osazování fotovoltaických panelů existuje dvojího typu. První varianta je statická, a to znamená, že panel je pouze zafixován na střechu domu. Tato varianta je méně časově, rozměrově i finančně náročná, ale za poskytuje menší vyrobenou energii na m^2. Druhou variantu tvoří systémy dynamické resp. natáčecí, které dosahují vyšší výroby, ale jsou značně nákladnější. Vyžadují častou údržbu a pro instalaci na střechu RD jsou značně nepraktické, a to i z vizuálního hlediska.

A proto se v této práci budu zabývat pouze statickou variantou, protože pro malé FVE s výkonem do 30 kW se dynamický systém ekonomicky nevyplatí.

V tomto projektu bude zastaveno zhruba 40 % jižní strany střechy. Samotné fotovoltaické panely se pomocí kotevního systému zafixují do úhlu natočení 34 °. Veškerá kabeláž ze střechy domu bude následně vedena v kolektoru do garáže, kde bude zavěšen na stěnu střídač a rozvaděč.

Co se týče kvality provedení a životnosti svázaných zařízení FVE, lze hovořit o dvou kategoriích.

První kategorie reprezentuje části, které nepodléhají výraznému opotřebení a pokud nedojde k mechanickému poškození, případně nedefinovanému provoznímu stavu, tak tyto části vydrží po celou dobu projektu, tedy 25 let. Jedná se o kabeláž, kolektory, nosné a fixační členy, kotevní systém a rozvaděč.

Druhá kategorie zahrnuje části, které podléhají výrazné degradaci v čase. V případě všech FVE se jedná o střídač. Samotný střídač, jako každá elektrotechnická součástka spolu s logickým obvodem, degraduje, ale samotné stárnutí není největším problémem střídačů v praxi.

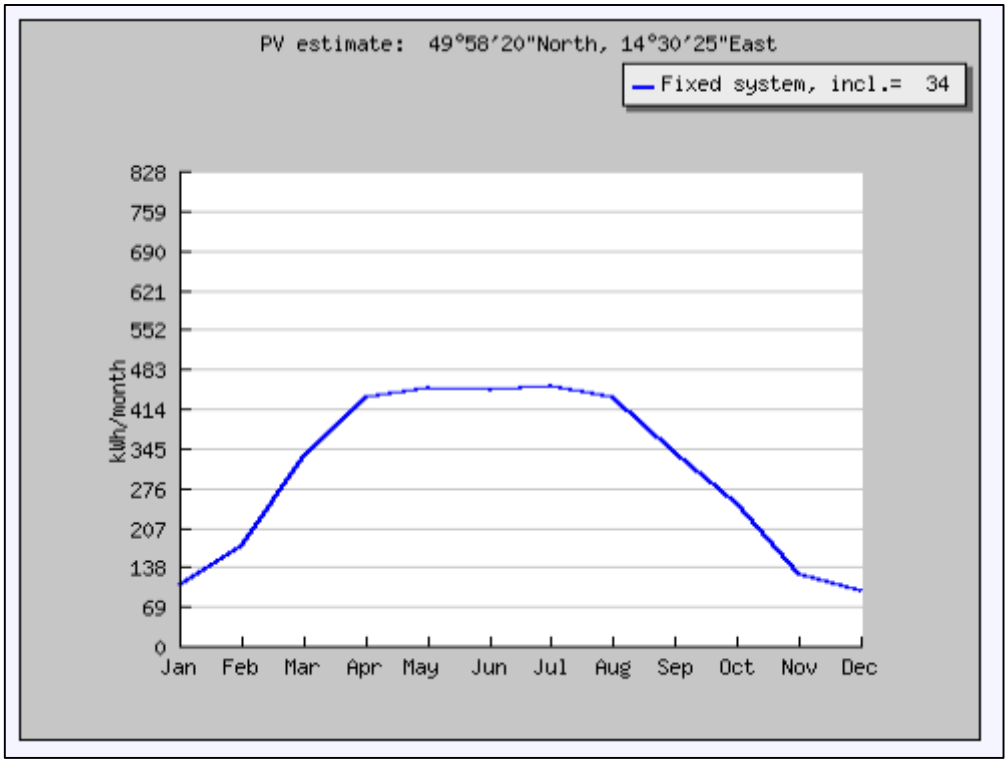
Problém nastává při běžném provoze, kde pokud střídač pracuje, tedy konvertuje elektrickou energii, vznikají tepelné ztráty, ale v noci, kdy systém elektrickou energii nevyrábí, případně se jedná o zlomky průměrného denního výkonu, pak může dosahovat teplota uvnitř jednotky hodnotám kondenzace vodních par a následnému vlhnutí jednotky a tudíž rapidnímu nárůstu degradace.

V případě osazení střídače ve venkovních prostorách se může životnost zkrátit z 15 let až na období 2-3 let. Toto je pro mojí investici nepřijatelné, a proto budeme střídač instalovat do vnitřních prostor a nejlépe do garáže, kde ani v chladné zimní noci nedochází k tak výraznému poklesu teplot, aby mohla proběhnout kondenzace v jednotce střídače.

Tímto ošetřením zajistíme maximální možnou trvanlivost celého systému malé FVE.

2.8 Potenciál lokality pro FVE

Pro výpočet výroby elektrické energie budu vycházet z přesného odhadu dopadu slunečního záření na vybranou lokalitu. Následující data pocházejí ze software PVGis dostupného online. [6]



Obrázek 7 – Odhad výroby energie za rok [Zdroj PVGis]

Obrázek číslo 7 popisuje vývoj výroby elektrické energie za rok po jednotlivých měsících, a to při úhlu naklonění panelů 34 °.

Objekt RD má GPS souřadnice 49°58'20" N, 14°30'25" E. Nadmořská výška 343 m. Pro nominální výkon 3.4 kW a technologii na bázi křemíku, platí, že odhadované ztráty z teploty a nízkého záření jsou dohromady rovny 8 %. Ztráty způsobené úhlem natočení fotovoltaických panelů, tedy úhlovou odrazivostí započítává program PVGis automaticky. Ostatní ztráty plynou ze střídače, kabelů, rozvaděčů a samotných fotovoltaických panelů. Suma těchto ztrát se nazývá kombinované ztráty.

Pro obě mé varianty vychází kombinované ztráty 10 % a jsou tvořeny převážně ze ztráty z teploty, poté z nízké radiace a v neposlední řadě 2 % ze střídače. Ostatní ztráty v systému jsem prohlásil za zanedbatelné.

Fixed system: inclination=34°, orientation=-2°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	3.47	108	1.07	33.3
Feb	6.29	176	1.98	55.5
Mar	10.70	332	3.50	108
Apr	14.40	432	4.94	148
May	14.50	450	5.10	158
Jun	14.90	446	5.30	159
Jul	14.60	453	5.26	163
Aug	14.00	433	4.98	154
Sep	11.30	338	3.88	116
Oct	8.00	248	2.64	81.7
Nov	4.21	126	1.34	40.3
Dec	3.12	96.7	0.97	30.1
Yearly average	**9.97**	**303**	**3.42**	**104**
Total for year		**3640**		**1250**

Obrázek 8 – Tabulka celkových a měsíčních hodnot [Zdroj PVGis]

V tabulce na obrázku číslo 8 je možné sledovat vývoj produkce elektrické energie a dopad slunečního záření. První sloupec E_d reprezentuje průměrnou denní produkci elektrické energie v kWh, druhý sloupec je jeho měsíční sumou. Třetí a čtvrtý sloupec obsahuje průměrnou denní a měsíční hodnotu slunečního záření v kWh/m^2.

Z přecházející tabulky je pak důležitý třetí, respektive čtvrtý sloupec, který zobrazuje celkovou sluneční aktivitu v místě RD a tyto hodnoty jsou použity v tabulce číslo 5 pro výpočet celkové energie dle variant.

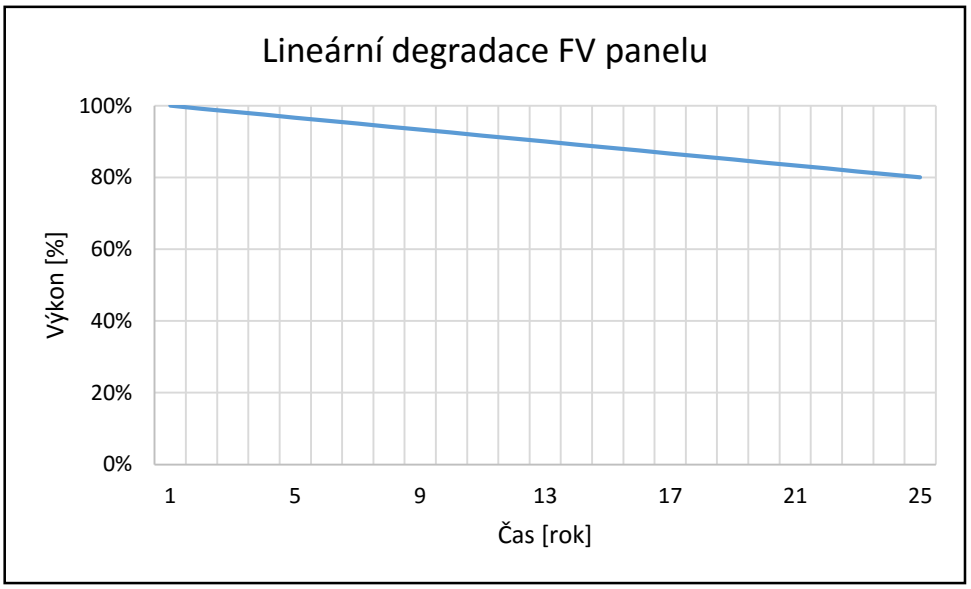
Z těchto hodnot budou vycházet výpočty v kapitole 5.

2.9 Garance a trvanlivost

I díky evropské standardizaci a certifikaci je jednodušší porovnávat kvalitu a provedení jednotlivých panelů a to pomocí technických listů (Data Sheet) výrobce.

V dnešním silně konkurenčním prostředí si výrobce nemůže dovolit nabídnout horší záruku, než ostatní, a proto je i u obou variant panelů výrobcem garantována záruka na výrobní vady a provedení shodně 10 let.

Obrázek 9 ukazuje garantovaný průběh výkonu fotovoltaického panelu v čase a tedy jeho postupnou degradaci. Jedná se o lineární úbytek s počátkem ve 100 % a po době 25 let by si měl panel uchovat 80 % svého nominálního výkonu.



Obrázek 9 – Lineární úbytek výkonu v čase

Mezi ostatní kvality fotovoltaických panelů patří krytí, které je u panelu od firmy Trina Solar IP65. Tento standard by měl ochránit výrobek kompletně proti prachu a zároveň proti tryskající vodě. Panel od firmy Canadian Solar, avšak disponuje lepším standardem IP67, který má stejný rating vůči prachu, ale o dvě kategorie lepší rating ochrany proti vodě. V tomto případě se jedná o ochranu proti ponoření do 1 metru hloubky po dobu 30 minut. [7]

3. Ekonomické prostředí provozu fotovoltaických panelů na RD

Tato část práce je věnována ekonomickému a právnímu prostředí v České republice, a to od počátku dotačních programů a systémů od roku 2005, až do současnosti, respektive do konce daného programu, který se může v průběhu života měnit.

Mezi dva nejdůležitější ekonomické aspekty patří určitě pořizovací cena, tedy cena počáteční investice a v neposlední řadě také výkupní cena energie DS, protože se cena mění v jednotlivých programech a také podle instalovaného výkonu.

Důležitou součástí projektu je také rozsah investice respektive celkový instalovaný výkon, protože podle tohoto ukazatele je potřeba projekt zvážit jednak ekonomicky, pak ale i právně a technicky. V mém případě se s malou FVE dá naložit několika způsoby. Jednak lze vyráběnou elektřinu spotřebovávat přímo v domácnosti, nebo pouze prodávat do DS. Nejpravděpodobnějším případem je pak kombinace obou možností a tedy využívat vlastní elektřinu v co největší míře a zbytek prodat do DS.

Programy Zelené úsporám zaštiťuje Ministerstvo životního prostředí a spadá pod správu Státního fondu životního prostředí, jenž je hlavním poskytovatelem dotací na snižování energetické náročnosti budov a domů.

„Program poskytuje nevratné dotace na zavedení vytápění na bázi obnovitelných zdrojů energie a na opatření k energetickým úsporám rekonstrukci nebo stavbě rodinných nebo bytových domů. Dotace jsou konkrétně poskytovány na zateplení domů, výměnu oken, pořízení rekuperace tepla, výměnu neekologického zdroje vytápění či teplé vody za ekologický (kotle na biomasu, solární kolektory, tepelná čerpadla) a pořízení nového pasivního domu.“ [8]

V posledních letech zejména v roce 2013 až 2015 nejsou a nebyly vypsány žádné neinvestiční dotace na fotovoltaické elektrárny. Jedním z důvodu je několikanásobné snížení cen technologií v solárním průmyslu.

„V souladu s novelou zákona č. 165/2012 Sb. zákonem č. 310/2013 Sb. byla zastavena od 1. 1. 2014 podpora pro výrobu elektřiny pro nové výrobny nebo výrobní zdroje elektřiny využívající obnovitelné zdroje energie, s výjimkou malých vodních elektráren. V souladu s platným zákonem ERÚ nestanovil od roku 2014 v cenovém rozhodnutí podporu pro nové výrobny využívající sluneční záření, bioplyn, skládkový plyn a kalový plyn z ČOV a biokapaliny.

Na základě přechodných ustanovení zákona č. 310/2013 Sb. ERÚ pro rok 2014 a 2015 stanovil podporu pro nové výrobny elektřiny nebo výrobní zdroje elektřiny využívající biomasu, větrnou energii a geotermální energii.“ [9]

3.1 Právní situace Zelené úsporám pro RD

Dotace jsou vázány na splnění pravidel daného programu a také záleží, v jaké části roku byl požadavek na investiční či neinvestiční dotaci podán, protože pro každoroční velký zájem o dotace musel být program několikrát pozastaven, nebylo již možné splnit další dotace s ohledem na daný rozpočet v konkrétním roce.

Na konci měsíce října roku 2010 „Státní fond životního prostředí ČR (SFŽP) a Ministerstvo životního prostředí dnes oznámily, že přerušují od konce října přijímání žádostí o dotace v rámci programu Zelená úsporám. Hlavním důvodem je výrazný nárůst počtu žádostí v posledních měsících.“ [10]

Je tedy nutno brát v potaz, že požadavky o dotace ve čtvrtém kvartálu roku nemusí být schváleny a může nastat komplikovaná situace bez peněžní dotace fondem a v tom případě i přehodnocení celé investice.

Programy Zelené úsporám jsou převážně financovány z prodeje emisních povolenek, kde emisní kvóty jsou definovány v „Kjótském protokolu podepsaném Českou republikou v roce 1998.“ [11]

Emisní povolenky jsou podobně jako elektrická energie, plyn nebo ropa obchodovatelné na energetické burze. Česká republika, jakožto země s přebytkem povolenek, si může takové obchodování dovolit a zároveň tím podpořit další růst energeticky úsporných objektů.

Vývoj cen na burze je značně volatilní, ale pokud se podíváme na delší období, lze dojít k následujícím závěrům. Dle [12] lze sledovat vývoj cen, který v létě roku 2011 dosáhl maxima a to skoro 17 EUR za povolenku. Následující období znamenaly výrazný propad ceny až do roku 2013, kde dosáhly minima kolem 3.5 EUR. Od té doby emisní povolenky stabilně rostou s mírnými propady na začátcích roku. S výjimkou roku 2016, kde nastal výrazný propad skoro o 20 %.

Závěrem z pohledu na burzu lze říct, že ceny povolenek jsou téměř třetinové oproti situaci, kdy se v České republice vyplácely nejvyšší dotace a i tento fakt hraje roli na dotační příspěvky na fotovoltaické elektrárny v roce 2016.

Největším o dlouhodobým spotřebitelem českých emisních povolenek je Japonsko, respektive velké japonské koncerny se zaměřením na výrobu. „Ministerstvo životního prostředí a japonská firma Mitsui & Co uzavřely v prosinci 2010 smlouvy o prodeji dalších 9.55 mil. jednotek AAU. Program Zelená úsporám tak získal další prostředky, které budou využity pro zateplování rodinných a bytových domů, výstavbu domů v pasivním standardu a výměnu starých kotlů za ekologické vytápění.“ [13]

Podle dat ze stejného článku z roku 2011 prodalo Ministerstvo životního prostředí celkem 85 750 000 jednotek AAU, což svědčí přibližně o stabilním prodeji povolenek od vstoupení Kjótského protokolu v České republice v platnost v roce 2005. [13]

3.2 Současný systém dotací

Investiční dotace do takzvaných zelených energií a úspor jsou vypisovány ERÚ na základě rozvojové politiky v oblasti OZE. Bohužel se v průběhu tvorby této práce změnil i systém dotací z původně 50 000 CZK jako jednorázová investiční dotace v roce 2015 na projekty malé FVE do 10 kWp instalovaného výkonu a to bez potřeby akumulace.

Od 1. ledna 2016 pak platí nový systém dotací, pro který platí, že „Hlavním cílem programu je zlepšení stavu životního prostředí snížením produkce emisí znečišťujících látek a skleníkových

plynů (především emisí CO2), dále pak úspora energie v konečné spotřebě a stimulace ekonomiky České republiky s dalšími sociálními přínosy, kterými jsou například zvýšení kvality bydlení občanů, zlepšení vzhledu měst a obcí, nastartování dlouhodobých progresivních trendů.“ [14]

Nový systém dotací je primárně financován z prodeje emisních povolenek. „Česká republika získala na tento program finanční prostředky prodejem takzvaných emisních povolenek EUA (European Union Allowance) dle zákona č. 383/2012 Sb., o podmínkách obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů, ve znění pozdějších předpisů v rámci EU ETS v období 2013 – 2020. Financování programu probíhá přes státní rozpočet ČR.“ [14]

Nová struktura investičních dotací uznává 3 kategorie a několik podkategorií. První kategorií je snižování energetické náročnosti stávajících RD. Druhá kategorie se týká výstavby nových domů s velmi nízkou energetickou náročností, takzvané pasivní domy. Poslední kategorií je kategorie C, která je zaměřena na efektivní využívání energie a tedy i OZE.

Kategorie C se pak dělí na několik podoblastí, ale protože řeším projekt malé FVE, tak mě bude zajímat pouze podkategorie C3, která se zabývá čistě termickými a fotovoltaickými panely.

Podoblast C.3 – Instalace solárních termických a fotovoltaických (FV) systémů		
Podoblast podpory	**Typ systému**	**Výše podpory [Kč]**
C.3.1	Solární termický systém na přípravu teplé vody	**35 000**
C.3.2	Solární termický systém na přípravu teplé vody a přitápění	**50 000**
C.3.3	Solární FV systém pro přípravu teplé vody s přímým ohřevem	**35 000**
C.3.4	Solární FV systém bez akumulace elektrické energie s tepelným využitím přebytků a celkovým využitelným ziskem ≥ 1 700 kWh.rok^{-1}	**55 000**
C.3.5	Solární FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem ≥ 1 700 kWh.rok^{-1}	**70 000**
C.3.6	Solární FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem ≥ 3 000 kWh.rok^{-1}	**100 000**

Tabulka 6 – Investiční dotace pro solární panely (Zdroj. NZÚ)

Z tabulky 6 platí pro mnou zvolený případ podoblast C. 3.4, která využívá fotovoltaické panely k výrobě elektrické energie a dokáže spotřebovat minimálně 1.7 MWh ročně vlastně vyrobené energie a také, že přebytek nedodá do soustavy, ale spotřebuje tuto energie na teplo, případně uložení do tepla. Platí pouze pro FVE do maximálního instalovaného výkonu 10 kWp. [15]

V průběhu zadání této práce nebyla v pravidlech NZÚ podmínka převedení přebytku na teplo, proto jsem v této práci počítal s prodejem přebytků do DS. V konečném důsledku by tento požadavek vedl na změnu zadání projektu, a v tomto případě byla by zapotřebí akumulační jednotka a také řídící jednotka, která by dávkovala spotřebu do RD a do akumulace.

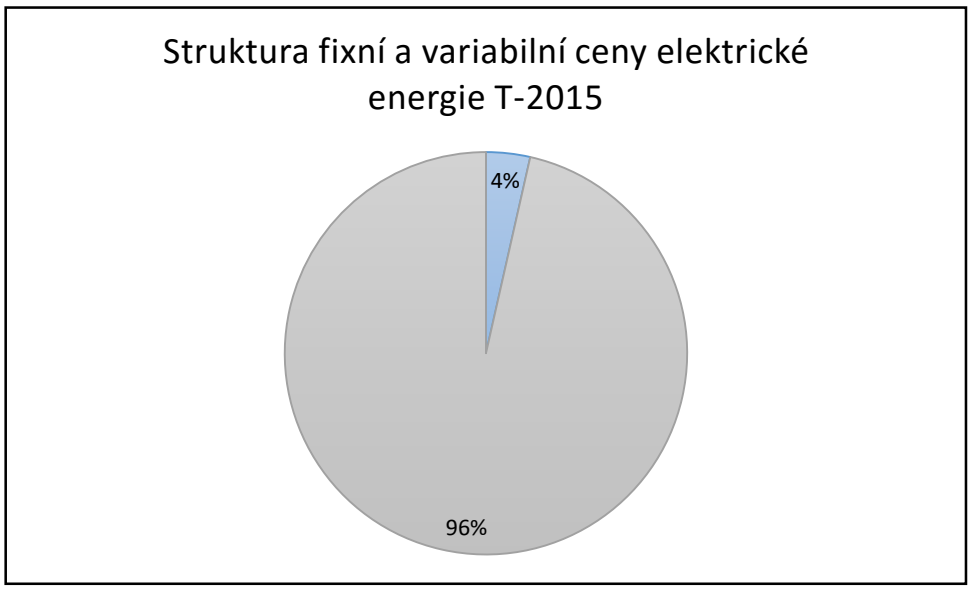
3.3 Nová tarifní struktura 2016

Vzhledem k tomu, že v průběhu tvorby této bakalářské práce je uvažováno o zavedení nové tarifní struktury, tak jsem se pokusil jednu z možných variant nové struktury vybrat a pojmenoval jsem ji T-2016. Rozdíly ve výsledcích mezi jednotlivými tarify jsem zachytil a porovnal v páté kapitole. Hodnoty výsledků budu uvádět jednak pro stávající tarifní strukturu (T-2015) a pokud to situace a data dovolí, tak také pro novou tarifní strukturu (T-2016).

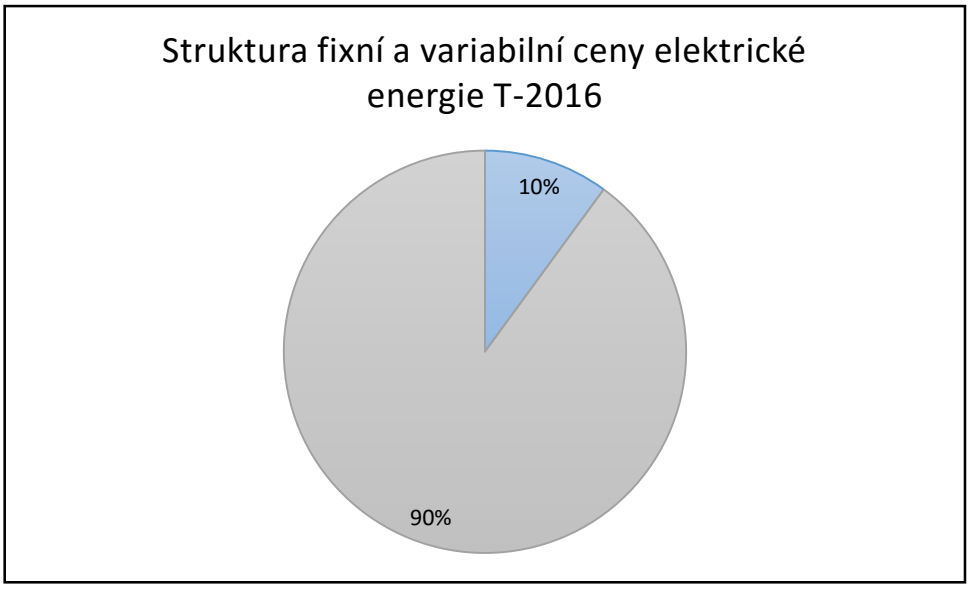
Hlavním impulsem proč změnit tarifní sktrukturu je fakt, že spoustu koncových odběratelů elektrické energie má naddimenzovaný jistič a provozovatel DS musí udržovat volnou kapacitu, tak aby se při soudobosti všech odběratelů nezhoršila kvalita elektrické energie, přitom mu vznikají vysoké náklady, které nejsou kompenzovány z prodeje elektřiny.

Příkladem takové situace může být chatová oblast. Pokud není zrovna víkend nebo sezóna, tak má celá oblast marginální odběr elektrické energie, ačkoliv jednotlivé odběrné místa mají vysoké hodnoty jističů, například kvůli používání výkonových strojů (cirkulární pila). Tedy ve většině času je odběr vůči kapacitě linky zanedbatelný a negeneruje ze spotřeby energie skoro žádný zisk, přitom distributor musí udržovat linku ve stavu, jakoby ve většině času byla spotřeba nominální.

Tento problém si dává za základ nová tarifní struktura, které chce reflektovat jednak využití jističe, ale také klesající ceny silové elektřiny. V případě, že by nová tarifní struktura platila, tak by se změnily pouze dvě položky na faktuře za elektrickou energii. Jedná se v prvé řadě o fixní poplatky, které jsou nezávislé na odběru silové elektřiny, ale jen a pouze na jističi. Tato položka by několikanásobně vzrostla oproti současnosti. Naopak variabilní položka by se naopak snížila o pár desítek procent.



Obrázek 10 – Tarifní struktura současné ceny elektrické energie



Obrázek 11 – Tarifní struktura plánované ceny elektrické energie

Zmíněné trendy jsem popsal na výše uvedených koláčových grafech, které reprezentují současnou situaci a jednu z možných variant budoucí struktury. Šedá část je variabilní položka ceny elektrické energie a modrá představuje fixní část. Tyto grafy platí pouze pro tuto konkrétní variantu a jsou pevně závislé na využití jističe.

Strukturu ceny energie pro T-2016, jsem zjistil za použití energetické kalkulačky na stránkách ERÚ. Je potřeba říct, že v průběhu psaní této práce není finální podoba nové tarifní sktruktury známa, a proto jsou vybrané ceny jen jedním z možných budoucích řešení. [16]

3.4 Daňová povinnost

V kapitole 5 přecházím od oblasti energií (kWh) do oblasti peněz (CZK), proto je nutné se zmínit o daňové povinnosti investora do tohoto projektu.

Vzhledem k tomu, že investorem je fyzická osoba, které není plátcem daně z přidané hodnoty, tak i v této práci uvádím položky a služby, které nakupuji s DPH.

Co se týká daně z příjmu, tak od té jsem oproštěn v případě nových dotací, protože zde negeneruji žádný příjem. Pro starší varianty z minulého roku, jako je prodej přebytků do DS, byla fyzická osoba s malou instalací (do 10 kWp) oproštěna od daně z příjmu také.

3.5 Diskontní míra

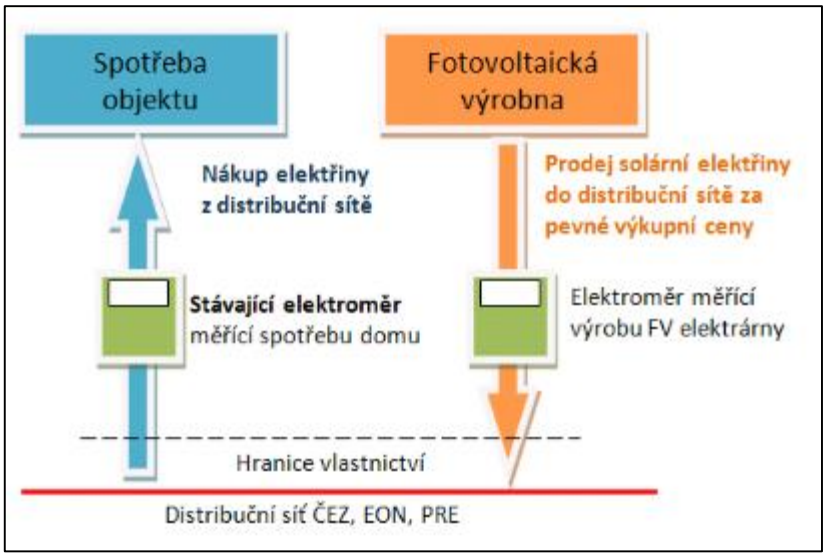
Pro zhodnocení investice potřebuji také vědět mojí diskontní míru (diskont). Určím jí jako míru zhodnocení, kterou mi přinese nejlepší možná ušlá příležitost (Opportunity Cost) s podobným rizikem. Vzhledem k faktu, že v práci nezahrnuji vliv inflace, který se dá jen velmi těžko odhadnout a je skoro nemožný odhadnout v horizontu 25 let, tak proto nominální diskont snížím ze 1.8 % na 1.5 %, abych mnou volený diskont přiblížil k reálnému diskontu.

4. Možnosti využití malé FVE

Pokud se rozhodneme investovat do malé FVE je potřeba si rozmyslet k jakému primárnímu využití bude tato elektrárna sloužit. Nehledě na to, že v dnešní době se dají nalézt velice atraktivní metody, které poskytují alternativní řešení a oproti konvenčním řešením nabízí ekologičtější provoz a jiné benefity. Mezi tyto benefity patří například různé i neinvestiční dotace, které pro malé fotovoltaické elektrárny nejsou vypsány a pravděpodobně již nebudou.

4.1 Varianta přímého připojení na DS

Spolu s variantou vlastní spotřeby se jedná o nejjednodušší variantou. Zahrnuje prosté připojení do sítě distributora a odkup elektrické energie na základě smlouvy s provozovatelem DS. V tomto případě se jedná k další investici na straně provozovatele malé FVE, a to o připojovací poplatek, protože z legislativních důvodů i kvůli řešení případných sporů, musí mít prodej do sítě vlastní elektroměr.



Obrázek 12 – Schéma zapojení přímého prodeje [Zdroj Solární výroba]

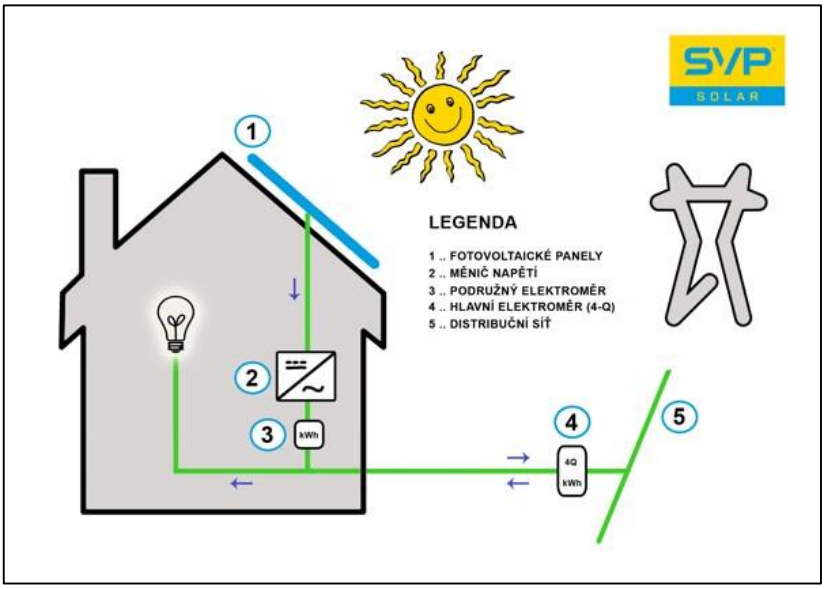
Na obrázku 12 je schematicky znázorněn výkup a prodej elektřiny provozovatelem DS a dále oba elektroměry, které jsou odděleny. Nejedná se tedy o zpětný elektroměr, který by přičítal spotřebovanou energii a odečítal energii vyrobenou. Takové to zapojení by bylo hrubé porušení zákona a žádný distributor by s takovým to zapojením neměl souhlasit.

4.2 Varianta vlastní spotřeby bez připojení k DS

Varianta vlastní spotřeby je myšlena tak, že pokud je vlastní FVE dimenzována na pokrytí elektrické energie domu v nečinnosti (standy-by režimu), tak ani při maximálním slunečním záření a tedy za maximální možné okamžité vyrobené elektrické energie nepřesáhne tato hodnota 100 % stand-by spotřeby a tudíž nikdy nenastane prodej elektrické energie do DS. Tato varianta byla nejlepší možnou volbou v minulém roce, tedy v roce 2015, kdy výše investiční dotace byla závislá na relativním využití FVE, a protože tato varianta využije vždy maximum elektrické energie, byl i koeficient relativního využití maximální a tabulkově se dalo dosáhnout nejvyšší kategorie dotací.

Toho již nelze jednoduše dosáhnout, protože jedním z kritérií přiznání investiční dotace je fakt, že FVE musí dosáhnout minimálně 1.7 MWh ročního využitelného energetického zisku.

Zapojení této varianty je znázorněno na obrázku 13, kde bohužel nedojde k pokrytí maxim denní spotřeby a z tohoto důvodu se jedná o pasivní doplňkový zdroj. Lepšími variantami než kompletní spotřebou vyrobené elektrické energie jsou varianty s akumulací.



Obrázek 13 – Schéma zapojení kompletní spotřeby [Zdroj SVP Solar]

4.3 Varianta kombinované spotřeby

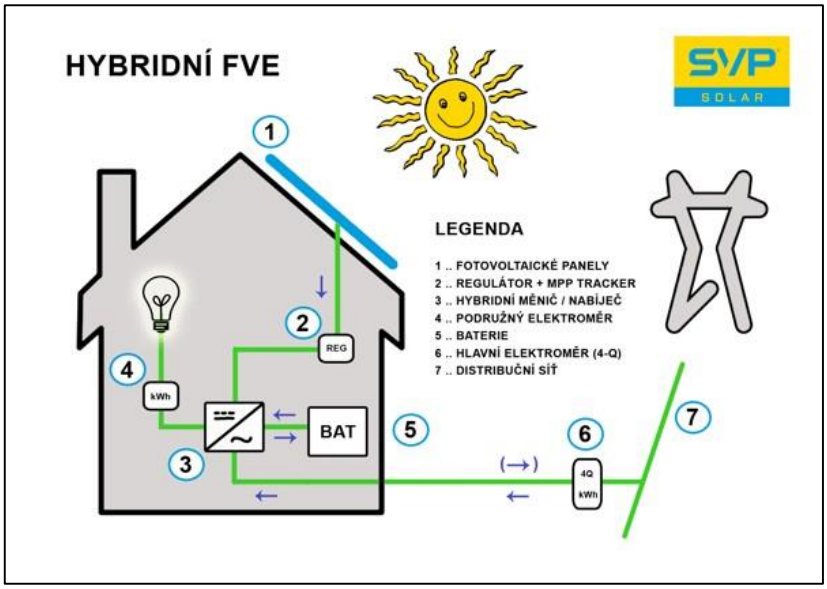
Jedná se o nejčastější variantu, která spotřebovává maximum vyrobené energie z fotovoltaických panelů, pokud to spotřeba dovolí. V opačném případě například přes slunečný den, kdy se vyrábí více energie, než by byla hodnota stand-by spotřeby, vzniká přebytek elektrické energie v síti a ten se musí vrátit do DS. Pracuje tedy v režimu prodeje elektrické energie. Bohužel ani tato varianta neřeší pokrytí spotřeby v dobách maxim.

4.4 Varianta s akumulací energie

Tato varianta je zatím nejpokročilejší, ale zároveň nejdražší. Jedná se o mnohem složitější systém zapojení a instalace, než předchozí varianty. Pro spolehlivý a efektivní provoz hybridní FVE je potřeba řídící logika, tedy jednotka, která dokáže reagovat na výrobu a zároveň spotřebu v domě. Samotná jednotka pak nastavuje vstupy a výstupy hybridního měniče, který může pracovat v mnoha variacích. Kromě řídící jednotky a hybridního měniče je zde akumulační jednotka. V tomto případě se jedná o baterie různého provedení, technologie, rozměrů i kapacit.

Schéma zapojení hybridní FVE instalované na RD je vidět na obrázku 14. Řídící logika zajišťuje pokrytí stand-by spotřeby v čase mimo zvýšenou spotřebu a zároveň nabíjení baterie pro kompenzaci, která je pak využita v čase se zvýšenou spotřebou.

Vzhledem k možnosti akumulace elektrické energie se dá tímto způsobem velice dobře vyplňovat maxima spotřeby v období, kdy fotovoltaická elektrárna nevyrábí žádnou elektrickou energii. Případně je tento systém schopen ostrovního provozu v případě přerušení externí dodávky elektrické energie.



Obrázek 14 – Schéma zapojení hybridní spotřeby [Zdroj SVP Solar]

Hybridní FVE má také jednu zcela zásadní legislativní výhodu oproti klasickým FVE, protože je tento systém opatřen akumulační jednotkou, nejedná se z podstaty věci o primární zdroj elektrické energie, nýbrž o spotřebič respektive UPS. [17]

Tedy pokud by nebyl projekt malé FVE schválen ze strany provozovatele DS, lze místo toho postavit HFVE. „Zde je ale nezbytně nutné, aby hybridní měniče měly označení CE, prohlášení o shodě s normou ČSN EN 61000-3-2/3.“ [18]

Vzhledem k rozsahu této bakalářské práce jsem otázku HFVE zmínil jen okrajově, protože výpočty, dimenzování a další části by vydaly na celou další práci a tuto jsem věnoval malé FVE bez možnosti akumulace.

5. Ekonomické zhodnocení projektu

K zhodnocení investice je potřeba shromáždění veškerých informací, které ovlivňují výslednou cenu projektu, ale také Cash Flow (CF).

Hlavní investičním ukazatelem v tomto projektu je NPV. Jedná se o absolutní investiční ukazatel, který je sumou diskontovaných peněžních toků. Zároveň patří mezi jedny z nejobjektivnějších a nejčastěji využívaných ukazatelů v oboru investic. A to díku tomu, že jednak zohledňuje cenu, ale také vývoj ceny v letech (diskont) a také délku trvání investice.

$$NPV(i,N) = \sum_{t=0}^{N} \frac{CF_t}{(1+i)^t}$$

kde

CF jsou toky peněz v jednotlivých obdobích

i je diskontní míra

t je období investice

5.1 Výpočet vyrobené energie

Pro výpočet vyrobené elektrické energie je nejprve potřeba uvést vztahy a zákonitosti, které ovlivňují výrobu elektrické energie solárními panely. Ještě je potřeba dodat, že všechny tyto úvahy vycházejí z podmínky standardního testování panelů a tedy za splnění podmínek STC, které probíhají při záření 1000 W/m^2 a teplotě okolí 25°C.

Mezi tyto údaje patří nominální maximální výkon, neboli P_{max} či P_{peak}, což je maximální hodnota výkonu, který je panel schopný převést. Nominální účinnost panelu η, která je závislá na slunečním záření a teplotě okolí, je totiž její funkcí, ale všichni výrobci tu to hodnotu uvádějí jako absolutní pro STC. G reprezentuje sluneční záření v kWh/m^2 osvícené plochy S.

Poté platí, že vyrobená energie je

$$W_{max} = G \cdot S \cdot \eta_{STC}\ (kWh)$$

kde

W_{max} je maximální možná vyrobená energie FVE

G je sluneční radiace

S je plocha fotovoltaických panelů FVE

η_{STC} je účinnosti konkrétního fotovoltaického panelu při měření za STC

V reálné situaci předchozí vzorec nebude fungovat. Příčinnou jsou ztráty, které jsou ovlivněny mnoha faktory. Proto v reálném výpočtu elektrické energie, který daný fotovoltaický systém dokáže vyprodukovat, zavedu další koeficient takzvané kombinované ztráty. Ty záleží v první řadě na technologii fotovoltaického panelu, který má pak různé vlastnosti dle světelných podmínek.

Dalším faktorem je teplota okolí, kde se zvyšující se teplotou zhoršuje efektivita panelů. Dle různých specifikací výrobců je také problémem účinnost při nízké intenzitě osvitu. Nepochybně bude dalším problémem statické uchycení všech panelů FVE, které jsou fyzicky umístěny pod úhlem 34 °, které je sice optimální, ale není nejlepší možné, protože se Slunce po celý den pohybuje, a tím to způsobuje různý úhel dopadu na plochu fotovoltaického panelu a zapříčiňuje pak odraz světla, které se nedostane k PN přechodu. Rozdíly ve výkonu jsou patrné i z druhu

světelného spektra. Většina modelů fotovoltaických panelů je velice dobře schopna převést viditelné světlo na elektrickou energii, avšak u frekvencí blízkých k infračervenému světlu už mají panely velice markantní rozdíly v účinnosti. Další rozdíl, který se může projevit, je rozdíl mezi přímým světlem. Tedy světlo, které bez odrazu dorazí od zdroji k cíli, nebo světlo difúzní, které je odrazem od čehokoli v cestě například mraků. V neposlední řadě je důležitý průběh stárnutí panelu a ten se může značně lišit v závislostí na technologii, kvalitě zpracování, údržbě a podobně.

Všechny body zmíněné v předchozím odstavci se dají souhrnně nazvat ztráty. V předloženém případě budu započítávat jen některé, a to proto, že některé ztráty nelze prakticky zjistit nebo jsou zanedbatelné.

Mezi ztráty, které určitě zanedbat nelze patří ztráty z teploty okolí a v mém případě jsou rovny 5 %, ztráty ze světelného odrazu činí 3 %. Obě tyto hodnoty jsou průměrem hodnot ze softwaru PVGis. Toto byly pouze ztráty, které zapříčiňuje samotný fotovoltaický panel. Další ztráty vznikají v celém systému FVE a mě budou zajímat jednak hodnoty na vstupu systému tedy G, ale také hodnoty na výstupu tedy W.

Ostatní ztráty v systému jsou 2 %. Samotný střídač dosahuje ztrát okolo 2 %. Ztráty v rozvodech, kabelech a rozvaděči jsou minimální, a proto je možné zanedbat. Degradaci panelu byla věnována podkapitola 2.10.

Celkové ztráty celé FVE jsou pak rovny 10 %.

$$W = G \cdot S \cdot \eta_{STC} \cdot z_k(kWh)$$

kde

W	je celková vyrobená energie FVE
G	je sluneční záření
S	je plocha fotovoltaických panelů FVE
η_{STC}	je účinnosti konkrétního fotovoltaického panelu při měření za STC
z_k	reprezentuje celkové ztráty

Dle této metody byly vypočítány hodnoty v následující podkapitole, a to za pomocí dat z již zmíněného softwaru PVGis. [19]

5.2 Vyrobená energie

Nejdůležitějším aspektem investice je ta část, která bude generovat zisk, respektive úsporu. V tom to případě se jedná o prodej elektrické energie, případně její spotřebu a tím ušetření z kupní ceny elektrické energie.

V tabulce číslo 7 jsou uvedena roční data výroby elektrické energie rozdělené do jednotlivých měsíců a to následujícím způsobem:

Sloupec A představuje vypočtenou vyrobenou energii pro panely od firmy Trina Solar, sloupec B je to samé, ale pro fotovoltaické panely od firmy Canadian Solar.

Další sloupce představují reálné naměřené hodnoty na stávajícím systému, který je instalovaný ve stejné lokalitě a o stejném instalovaném výkonu jako varianta B. Vzhledem k tomu, že nemám k dispozici kompletní hodnoty za všechny měsíce v průběhu posledních tří let, tak jsem byl nucen tyto hodnoty zprůměrovat a jejich výsledek je vidět v posledním sloupci tabulky.

S ohledem na fakt, že naměřené hodnoty jsou velice blízko hodnotám vypočteným, tak prohlásím hodnoty získané pomocí výpočtů a programu PVGis za korektní. V následujících výpočtech proto budu počítat s hodnotou spočítanou, která je celkem 3 366.9 kWh pro variantu A s nulovým opotřebením a pro variantu B vychází hodnota 3 803.9 kWh za rok při stejném opotřebení.

Měsíc	**G_m [kWh/m^2]**	**A [kWh]**	**B [kWh]**	**M-2013**	**M-2014**	**M-2015**	**M-AVG**
1	33.3	89.92	101.59	0.00	93.50	89.87	91.68
2	55.5	149.86	169.31	0.00	266.26	210.53	238.40
3	108	291.62	329.47	0.00	386.30	375.59	380.95
4	148	399.63	451.50	1.41	425.10	449.35	437.22
5	158	426.64	482.00	0.09	435.57	468.26	451.91
6	159	429.34	485.05	337.10	501.51	458.25	432.28
7	163	440.14	497.25	538.51	497.37	498.76	511.54
8	154	415.84	469.80	442.89	408.08	477.15	442.71
9	116	313.23	353.87	327.18	352.67	370.78	350.21
10	81.7	220.61	249.24	312.45	231.15	218.16	253.92
11	40.3	108.82	122.94	105.61	91.51	117.39	104.84
12	30.1	81.28	91.82	133.51	69.73	0.00	101.62
Suma	**1246.9**	**3366.92**	**3803.85**	2198.75	3758.73	3734.10	**3797.29**

Tabulka 7 – Roční výroba elektrické energie

V kapitole 2.10 jsem popsal lineární úbytek výkonu v čase. Záruka výrobce tvrdí, že by fotovoltaické panely měly být schopny vyrobit 80 % ze své původní nominální hodnoty po 25 letech fungování.

V tabulce číslo 8 jsou uvedeny celkové sumy vyrobené elektrické energie v jednotlivých letech a i poměrná část výkonu vůči nominální hodnotě, která je na začátku 100 %. V tom případě pak bude celkový součet všech vyrobených elektrických energií za dobu existence projektu, tedy 25 let, následující:

Celková vyrobená elektrická energie varianty A je 75.8 MWh a pro variantu B je to pak 85.6 MWh.

Čas [rok]	Výkon [%]	A [kWh]	B [kWh]
1	100.00%	3366.92	3803.85
2	99.17%	3338.86	3772.15
3	98.33%	3310.80	3740.45
4	97.50%	3282.74	3708.75
5	96.67%	3254.68	3677.05
6	95.83%	3226.63	3645.35
7	95.00%	3198.57	3613.65
8	94.17%	3170.51	3581.96
9	93.33%	3142.45	3550.26
10	92.50%	3114.40	3518.56
11	91.67%	3086.34	3486.86
12	90.83%	3058.28	3455.16
13	90.00%	3030.22	3423.46
14	89.17%	3002.17	3391.76
15	88.33%	2974.11	3360.06
16	87.50%	2946.05	3328.37
17	86.67%	2917.99	3296.67
18	85.83%	2889.94	3264.97
19	85.00%	2861.88	3233.27
20	84.17%	2833.82	3201.57
21	83.33%	2805.76	3169.87
22	82.50%	2777.71	3138.17
23	81.67%	2749.65	3106.47
24	80.83%	2721.59	3074.78
25	80.00%	2693.53	3043.08
Suma =		**75755.60**	**85586.54**

Tabulka 8 – Celková vyrobená elektrická energie za životnost projektu

5.3 OPEX spojené s provozem FVE

Ačkoliv se u malých FVE jedná v principu o bezporuchový provoz, který je dán kvalitou materiálů a hlavně relativně malou mechanickou i atmosférickou zátěží, je potřeba počítat s určitými fixními náklady, které se budou započítávat do výsledného zisku.

První položkou jsou revize FVE, které se dle ČSN 331500 [18] musí provádět každé tři roky pro střídače umístěné venku a každé čtyři roky v případě domovního umístění. Protokol o revizi zařízení se pak předává provozovateli DS.

Pro mnou vybranou FVE jsem našel revizní firmu Solarinvest-Green Energy, s.r.o. [20], která provádí revize malých FVE do 6 kWp za cenu 1 390 CZK s DPH. K revizi je samozřejmostí dodání veškeré fotodokumentace a vypracování revizní zprávy.

Další položkou ve fixních nákladech je navýšení pojistky na RD, která stoupne o investiční cenu celé malé FVE. Záleží na poskytovateli pojištění a na druhu tarifu, ale vzhledem k ceně vlastního RD oproti ceně malé FVE, je toto navýšení zanedbatelné.

Solární panely je pro největší účinnost potřeba alespoň jednou do roka vyčistit. Čištění může provádět specializovaná firma, ale vzhledem k velikosti malé FVE a relativně jednoduché dostupnosti pomocí střešního okna, budu předpokládat čištění majitelem FVE, který si svoji práci ohodnotí na 200 CZK za jedno čištění. Čištění se bude provádět jednou do roka.

Vzhledem k četnosti toho provozního výdaje a velikosti výroby samotné FVE, hraje zmiňovaná položka velikou roli v následném hodnocení investice. Pokud bych položku čistění zanedbal, tak NPV výrazně poroste, zaplacením specializované firmy na čistění fotovoltaických panelů by NPV výrazně klesala, jelikož jsou prakticky všechny ostatní položky konstantní, proto OPEX spolu s CAPEX hrají výraznou roli v hodnocení této investice.

5.4 Průběh výroby elektrické energie malou FVE

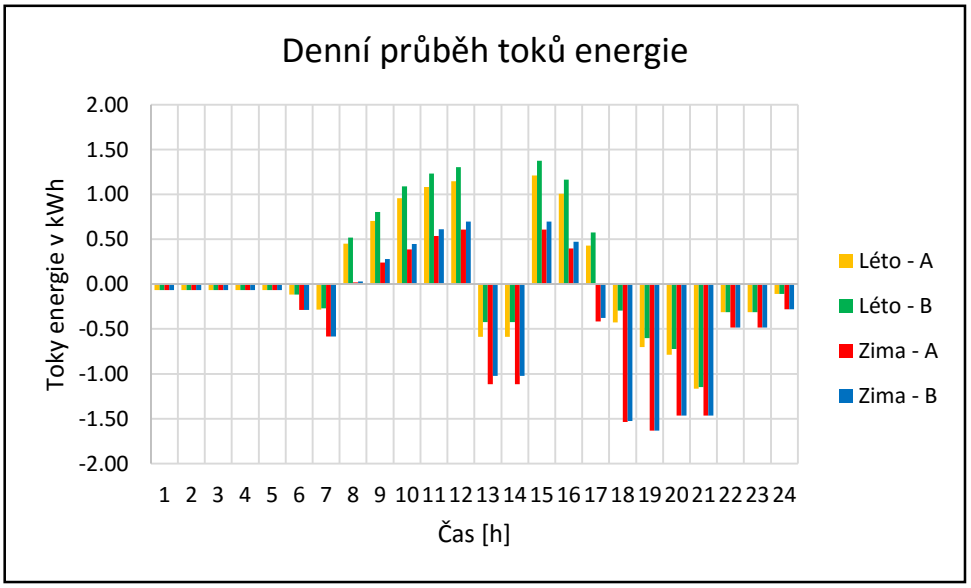
S přihlédnutím k tomu, že FVE vyrábí výrazně méně elektrické energie v zimním období, rozložil jsem výrobu energie na dvě části a na letní a na zimní. Mezi letní měsíce patří duben, květen, červen, červenec, srpen a září, naopak do zimních měsíců jsem zařadil leden, únor, březen, říjen, listopad a prosinec.

Průměrná výroba léto/zima		
	Měsíčně [kWh]	Denně [kWh]
Léto - A	404.13	13.28
Léto - B	456.58	15.00
Zima - A	157.02	5.16
Zima - B	177.39	5.83

Tabulka 9 – Průměrná výroba v letním a zimním období

Jednotlivé hodnoty vyrobené elektrické energie jsou v tabulce a jsou rozděleny do dvou variant A a B.

Samotné toky elektrické energie od fotovoltaických panelů do spotřeby RD nebo dále do DS jsou vidět na následujícím obrázku a popsány dále v tabulce pod ním.



Obrázek 15 – Denní průběh toku elektrické energie

Jednotlivé barvy zastupují varianty a jejich příslušné roční období. Kladná hodnota energie znamená nadbytek výroby, a tedy prodej elektrické energie do DS. Naopak záporné hodnoty signalizují nedostatek výroby, který končí nákupem elektrické energie z DS. Na obrázku lze velmi dobře rozlišit maxima spotřeby i výroby, první maximum spotřeby je kolem 7 hodiny ranní, kde FVE nepokrývá skoro nic. Následuje maximum výroby okolo 13 hodiny, ale protože je spotřeba domu optimalizovaná, tak i v této době je spotřeba záporná. Večerní maximum spotřeby je okolo 19 hodiny, a to už fotovoltaické panely skoro nevyrábí elektrickou energii.

Jak je patrno z obrázku číslo 15, tak FVE nestačí ani ve svém maximu pokrýt energeticky náročné spotřebiče, jako jsou pračky prádla a myčky nádobí. V čistě teoretické úvaze by se dalo praní rozložit na více hodin s menším hodinovým odběrem a tím docílit co nejmenším přetokům na jednu či druhou stranu, ale to v reálné situaci nejde, protože spotřebiče mají nastavené programy a nominální odběr elektrické energie. Zde je určitě prostor pro lepší například ekologicky šetrné spotřebiče, které perou nebo myjí dlouho, ale s menší hodinovou energií.

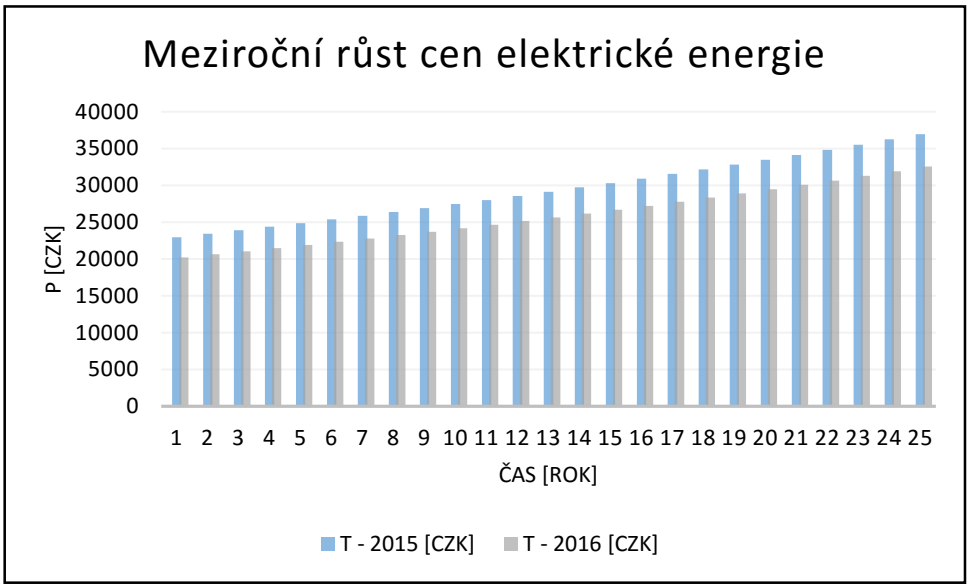
Přehled toků v kWh 2016							
Den	**FVE**	**FVE -> RD**	**FVE -> DS**	**P - RD**	**P - DS**	**DS**	**Spotřeba**
Léto - A	13.28	6.28	6.99	47%	53%	-5.72	**12.01**
Léto - B	15.00	6.94	8.06	46%	54%	-5.07	**12.01**
Zima - A	5.16	2.36	2.80	46%	54%	-11.20	**13.56**
Zima - B	5.83	2.60	3.23	45%	55%	-10.96	**13.56**

Tabulka 10 – Přehled toků elektrické energie v RD pro rok 2016

V tabulce číslo 10 je číselně znázorněn stav toků elektrické energie v RD pro rok 2016. Sloupec nazvaný FVE představuje celkovou hodnotu vyrobené elektrické energie ve FVE za dané období v kWh. Třetí a čtvrtý sloupec reprezentuje tok z výroby FVE, jednak do oblasti vlastní spotřeby, a také do DS. Sloupce 5 a 6 jsou poměrné hodnoty spotřeby a prodeje vlastně vyrobené elektrické energie. Tento poměr se s postupem času mění, protože spotřeba RD stagnuje, ale výroba fotovoltaických panelů upadá, a proto P - RD roste na hodnoty okolo 58 %. V sedmém sloupci je záporně vyznačená hodnota dokoupené elektrické energie z DS pro doplnění celkové spotřeby RD v sloupci 8. Všechny hodnoty jsou v kWh.

5.5 Cena elektrické energie – nulová investice

Dříve než začnu hodnotit jednotlivé druhy a varianty investic, je potřeba, abych si určil základní parametry současné situace. V tomto případě si určím NPV z ceny celkové spotřebované energie za rok 2015. O rozdílech mezi tarifními strukturami v mezidobí 2015 a 2016 pojednává kapitola 3.3.



Obrázek 16 – Meziroční růst cen elektrické energie

Z energetické kalkulačky jsem zjistil následující ceny elektrické energie 22 974 CZK pro T-2015 a 20 231 CZK pro T-2016. Předpokládám, že meziroční růst cen variabilní položky elektrické energie bude 2 % a fixní část se nebude ve sledovaném období měnit. Tento vývoj sleduje předchozí obrázek číslo 16.

Čistá současná hodnota je pak -595 030 CZK pro T-2015 a -515 169 CZK pro T-2016. Tyto hodnoty a hlavně pak NPV pro tarifní strukturu platnou na začátku roku 2016 (T-2015) budu v následujících podkapitolách porovnávat s variantami provedení malé FVE.

5.6 Varianta přímého prodeje do sítě

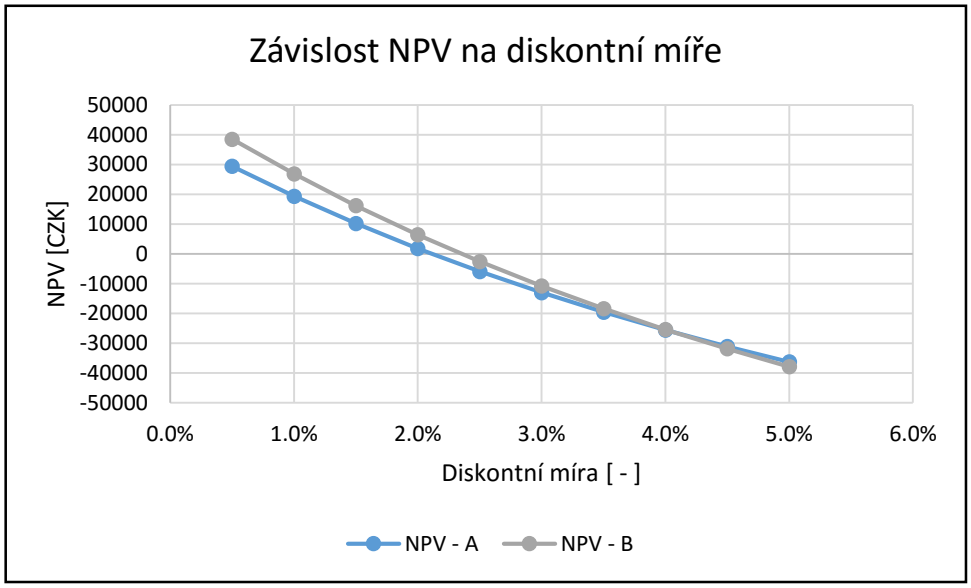
Tato varianta je pouze ilustrativní ukázkou toho, jak to vypadlo v případě, kdyby se veškerá vyrobená elektrická energie pomocí malé FVE prodala do DS, a proto v následující výpočtech není zaznamenána NPV nulové investice.

Daň z přidané hodnoty	21%	[-]
Výkupní cena elektrické energie	0.50	[CZK/kWh]
Prodejní cena elektrické energie T-2015	4.70	[CZK/kWh]
Prodejní cena elektrické energie T-2016	3.79	[CZK/kWh]
Průměrný počet dnů v měsíci	30.44	[den]
Nominální délka roku	365.25	[den]
Počet letních nebo zimních měsíců	6	[měsíc]
Nominální diskontní míra	1.5%	[-]
Meziroční vzrůst cen elektrické energie	2.0%	[-]
Míra investiční dotace	32.8%	[-]

Tabulka 11 – Nominální hodnoty projektu malé FVE

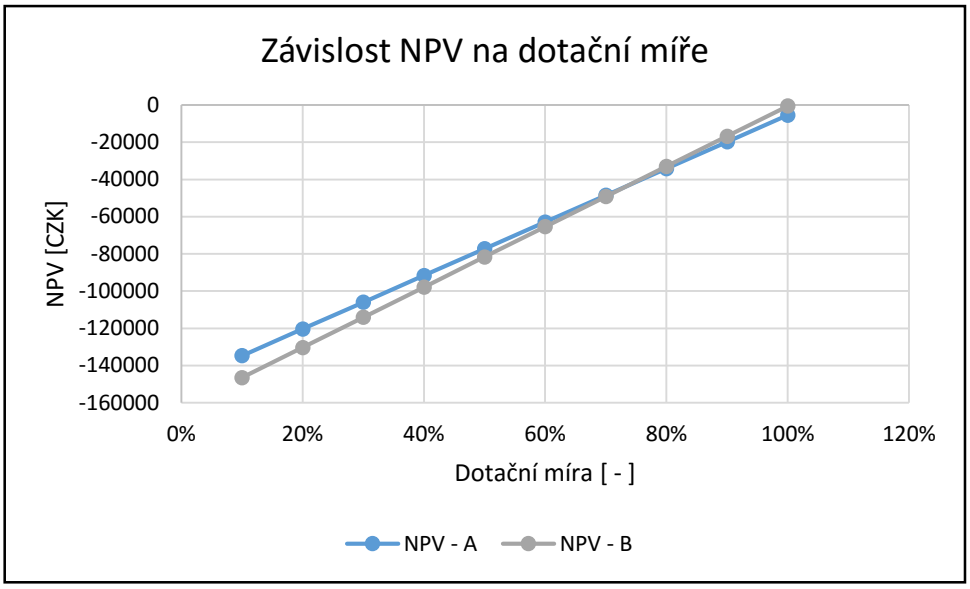
Pro nominální diskontní míru 1.5 % a nominální výkupní cenu elektrické energie DS 0.5 CZK je NPV velmi záporná a vzhledem k tomu, že přímým prodejem neušetříme za spotřebu RD. Tato varianta je ekonomicky zcela nevýhodná. Pokud bych chtěl dosáhnout alespoň NPV rovno nula, pak by hodnota výkupní ceny energie musela být 2.84 CZK pro variantu A a 2.77 CZK pro variantu B. Tyto ceny nejsou v roce 2016 reálné, a proto jsou další úvahy s nominálními cenami zbytečné.

V následujících grafech jsem se zachytil chování NPV pro všechny tři proměnné a vytvořil citlivostní analýzy, které směřují, alespoň k nulové NPV.



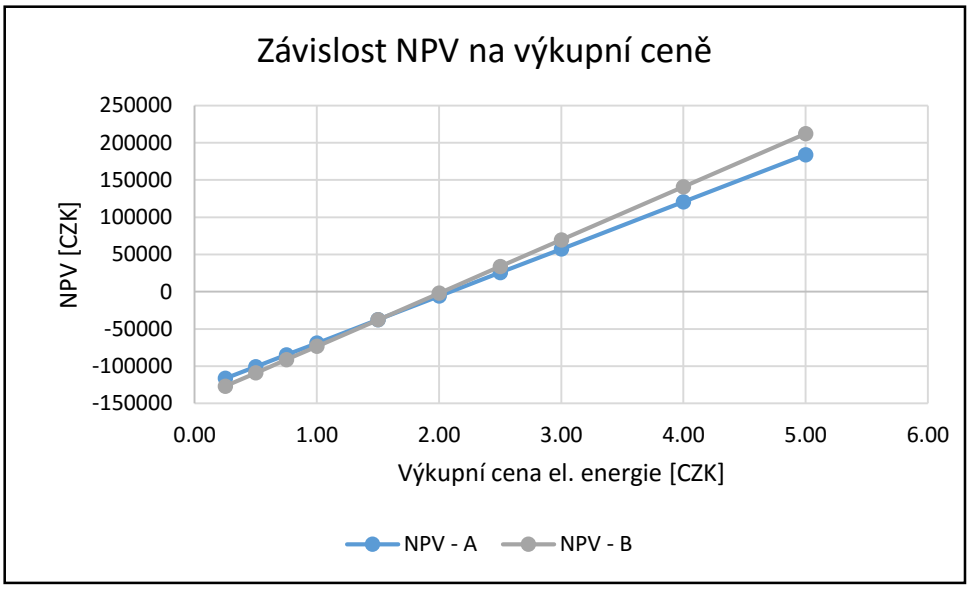
Obrázek 17 – Závislost NPV na diskontní míře

Na tomto grafu lze vidět průběh NPV pro jednotlivé varianty projektu s výkupní cenou elektrické energie rovnou 3.00 CZK. Je patrné, že diskontní míra pak může být až 2.1 % pro variantu A a 2.4 % pro variantu B, při zachování kladné NPV.



Obrázek 18 – Závislost NPV na dotační míře

Jak je patrné z obrázku 18 pro nominální hodnoty výkupních cen energie a diskontní míry, tak ani kompletní financování investice nepomůže ke kladné NPV. Té dosáhnu až po dotaci v míře 103.0 % pro variantu A a 100.1 % pro variantu B. Z průběhu lze pozorovat, že varianta B dosáhne kladné NPV dříve než varianta A, ale to je zapříčiněno relativní metodou dotace, protože cena variant se liší, a tedy absolutní dotace nebude stejná.



Obrázek 19 – Závislost NPV na výkupní ceně elektrické energie

Na tomto obrázku je znázorněn průběh NPV pro nominální diskontní míru a pro maximální možnou investiční dotaci 50 000 CZK. Kladnou NPV poté dostaneme na hodnotách 2.09 CZK pro variantu A a 2.03 CZK pro B. Menší výkupní cena pro variantu B je dána vyšší vyrobenou energií.

5.7 Varianta s kombinovanou spotřebou

Tato varianta je v mém případě nepravděpodobnější a ekonomicky zajímavější než prostý prodej veškeré elektrické energie, jak tomu bylo v případě 5.6. Dále zavedu nový investiční parametr,

a to ΔNPV, který značí rozdíl mezi NPV kombinované spotřeby a NPV nulové investice a je tím hlavním ukazatelem, jestli se projekt ekonomický vyplatí či nikoli.

Stejně jako v případě 5.6 budu vycházet z nominálních hodnot uvedených v tabulce 11.

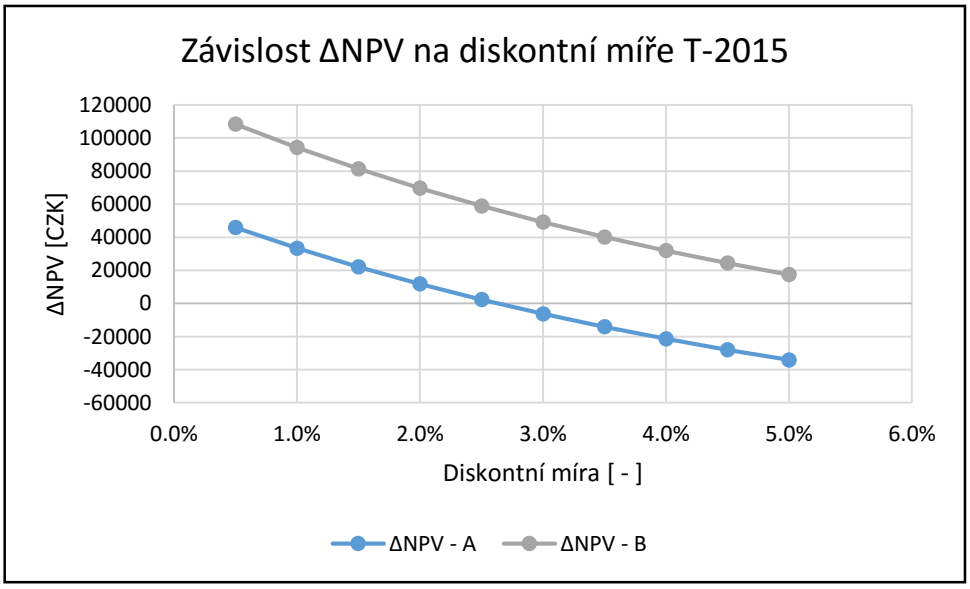
T-2015			
Prodej do DS	**0.50**	0.50	**[CZK]**
Diskont	**1.5%**	1.5%	**[-]**
Nákup od DS	**4.70**	4.70	**[CZK]**
NPV - A	-572938.66	-572938.66	**[CZK]**
NPV - B	-513659.10	-568642.19	**[CZK]**
Dotace	**33.9%**	36.1%	**[-]**
ΔNPV - A	**22091.07**	-595029.73	**[CZK]**
ΔNPV - B	**81370.63**	-595029.73	**[CZK]**

Tabulka 12 – Přehled důležitých hodnot s tarifikací T-2015

V případě parametrů zvolených v tabulce číslo 12 dosáhne ΔNPV kladných, a to 22 091 CZK pro variantu A a 81 371 CZK pro B. Sloupec tři reprezentuje nominální hodnoty pro danou položku.

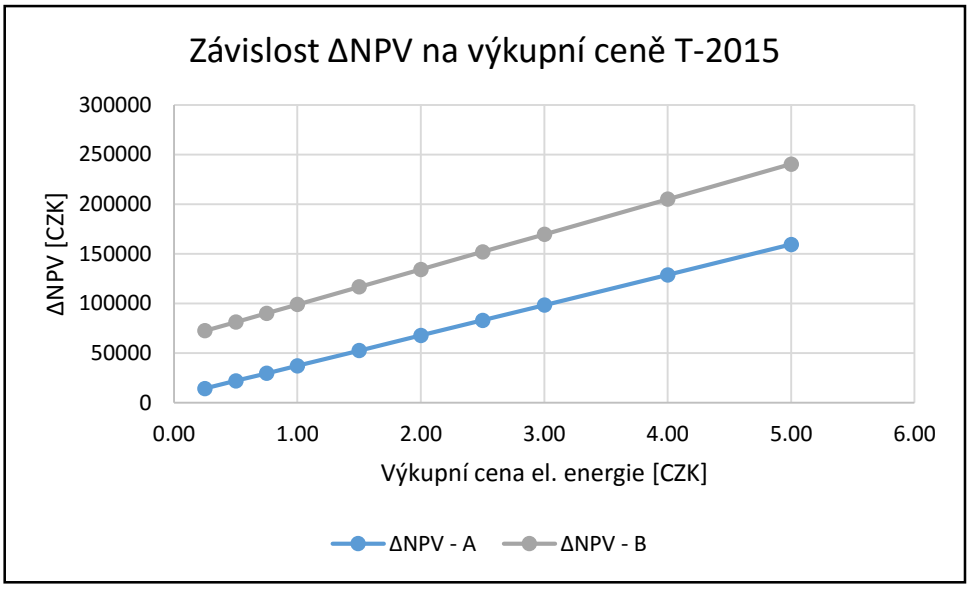
Pro důsledné dodržení podmínek stanovených pro projekty malých FVE po 1. lednu 2016, které jsem zmínil v podkapitole 3.2, varianta A nedosáhne na investiční dotaci, protože nedokáže spotřebovat minimální určenou hranici 1.7 MWh vlastně vyrobené elektrické energie.

V následujících grafech jsem simuloval citlivostní analýzy pro nominální hodnoty varianty A a B, ale s tím rozdílem, že pro variantu A není započtená investiční dotace 55 000 CZK.



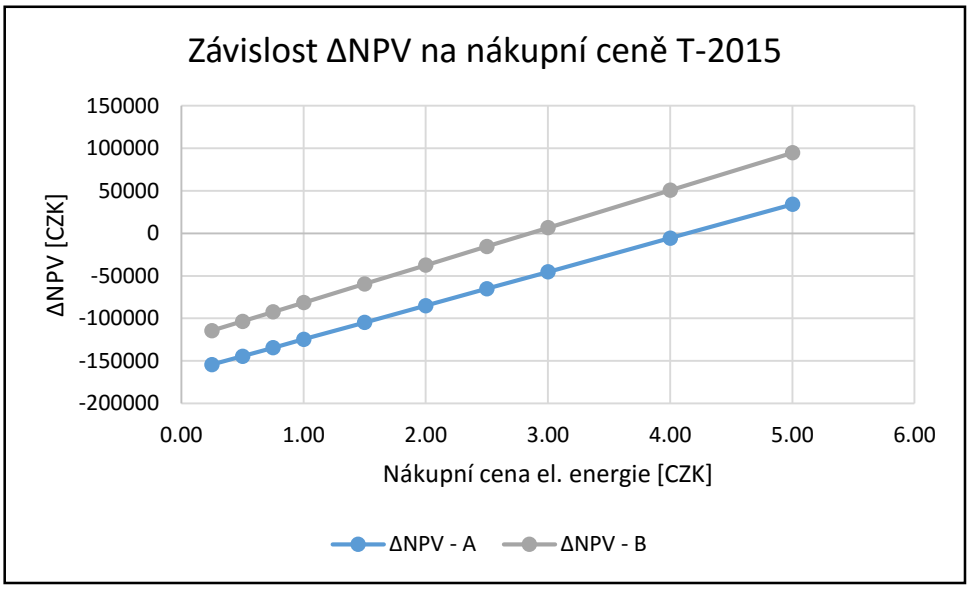
Obrázek 20 – Závislost ΔNPV na diskontní míře

Jak lze vidět z citlivostní analýzy, diskontní míra může růst až k hodnotám 2.63 % v případě varianty A a 6.47 % pro variantu B. Je zde vidět velký nepoměr mezi variantou A a B způsobenou investiční dotací.



Obrázek 21 – Závislost ΔNPV na výkupní ceně elektrické energie

Protože se obě varianty vyplatí i bez prodeje do DS, je zajímavé sledovat vývoj, kde by se měnila výkupní cena elektrické energie. Uvádět hodnotu, při které je NPV nulová, je nesmyslné, protože pak bych platil za to, že elektřinu dávám do sítě. V takovém případě by bylo lepší systém odpojit od sítě úplně nebo přebytkovou energii vybít v nějaké akumulační jednotce, nebo přes elektrické topení přeměnit na teplo pro RD.



Obrázek 22 – Závislost ΔNPV na nákupní ceně elektrické energie

Poslední citlivostní analýzou je závislost NPV na změně výkupní ceny elektrické energie. Tato analýza je ze všech nejdůležitější, protože výrazně ukazuje na fakt, že pokud bude růst cena energie, tak NPV také, ale pokud by cena elektrické energie výrazně klesala, projekt by se začínal vyplácet méně.

Mez kde NPV dosáhne nuly, je 4.14 CZK pro variantu A a 2.85 CZK pro B. Je potřeba zmínit, že velký rozdíl je uměle držen investiční dotací.

Citlivostní analýzu jsem provedl i pro nový tarifní systém, který v době tvorby této práce nebyl schválen, a jedna jeho podoba byla popsána v podkapitole 3.3.

T-2016			
Prodej do DS	**0.50**	0.50	**[CZK]**
Diskont	**1.5%**	1.5%	**[-]**
Nákup od DS	**3.79**	3.79	**[CZK]**
NPV - A	-497947.12	-497947.12	**[CZK]**
NPV - B	-442635.98	-497619.08	**[CZK]**
Dotace	**33.9%**	36.1%	**[-]**
ΔNPV - A	**17171.90**	-595029.73	**[CZK]**
ΔNPV - B	**72483.04**	-595029.73	**[CZK]**

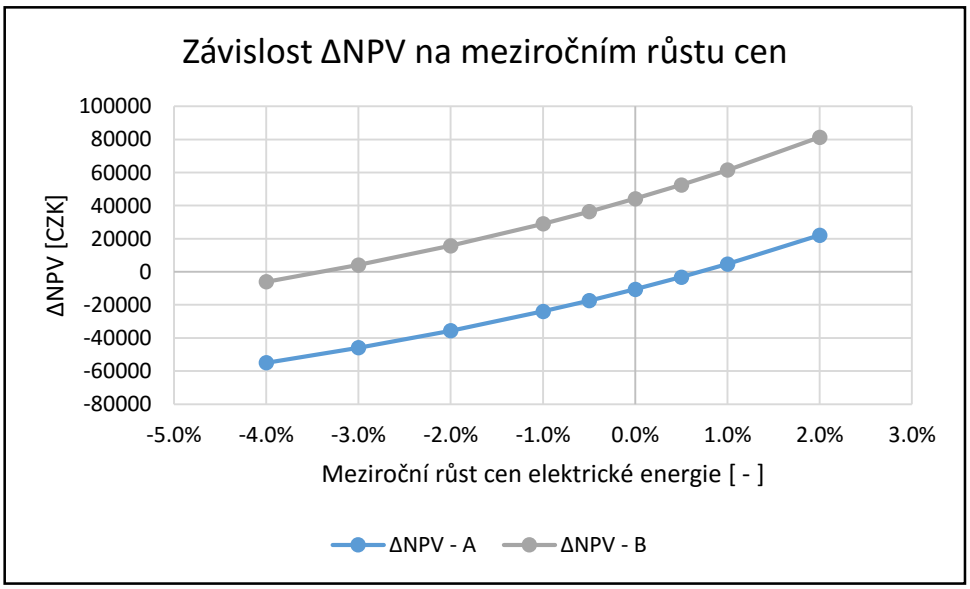
Tabulka 13 - Přehled důležitých hodnot s tarifikací T-2016

Stejně jako pro T-2015, tak i tady se investice vyplatí. Čistá rozdílová současná hodnota bude rovna 17 172 CZK pro variantu A a ΔNPV – B vyjde 72 483 CZK. Konečné rozdíly oproti T-2015 jsou poklesy -22.27 % pro variantu A a -10.92 % pro variantu B.

Samotné citlivostní analýzy se liší oproti T-2015 jen marginálně, a proto je v této práci nebudu uvádět. Vliv na rozdíl mezi NPV pro T-2015 a T-2016 je hlavně způsoben zvoleným odhadem nové podoby tarifů a dále pak využitím stávajícího jističe, které je v mém případě velké, a proto zde nejsou velké rozdíly.

5.8 Zhodnocení variant

Citlivostní analýzy, zmíněné v minulé podkapitole, mají meziroční změnu cen elektrické energie konstantní. To v reálné situaci není pravděpodobné, proto jsem vytvořil citlivostní analýzu, která bere v úvahu i meziroční změnu ceny elektrické energie.



Obrázek 23 - Závislost ΔNPV na meziročním růstu cen elektrické energie

Z této analýzy plyne, že pokud bude cena elektrické energie růst alespoň o 0.71 % v případě varianty A, tak potom zůstane ΔNPV kladná. Situace pro variantu B vypadá odlišně, a to z důvodu

relativně vysoké investiční dotace. Varianta B se vyplatí i při poklesu meziroční ceny elektrické energie a to až do hodnoty -3.39 %, kdy ΔNPV dosáhne hranice 0.00 CZK.

Jak už jsem popsal v předchozí kapitolách, tak pro obě varianty provedení projektu, tak i při obou tarifních strukturách se investice vyplatí, ale ne vždy stejně.

Pokud budu uvažovat variantu A, která má menší nominální výkon, ale byla zároveň nejlevnější, tak pokud bych zahrnul investiční dotaci, abych smazal rozdíl mezi variantou A a B, bude NPV-A menší než NPV-B. Jedinou možností jak dosáhnout toho, aby NPV-A bylo větší než NPV-B, je vrátit se ke stavu před optimalizací, ale tím snížím obě NPV, B výrazněji než A.

V případě, že bude platit nová tarifní sktruktura, tak se rozdíl mezi variantami zmenší, protože se zmenší i cena silové energie, ale varianta A se i tak nevyplatí, proto tuto variantu zavrhnu.

Varianta B s kvalitnějšími panely a o větším instalovaném výkonu je sice dražší investicí, ale vzhledem k investiční dotaci, se vyplatí více než A. Je to také díky optimalizaci spotřeby a větším maximem výroby, a tedy i větší úsporou.

Z nové tarifní struktury pro variantu B vyplývá, že ΔNPV klesne o skoro 11 %, ale vzhledem k tomu, že hodnota bude stále kladných 72 500 CZK při nominálním diskontu 1.5 %, tak se stále jedná o velmi atraktivní investici pro vlastníka RD.

6. Závěr

Hlavním cílem této práce bylo vypočítat a ekonomicky zhodnotit, jestli se projekt malé FVE v roce 2015 respektive v roce 2016 vyplatí. Vzhledem k tomu, že během tohoto období se měnily podmínky přiznání investičních dotací a také se velmi vážně uvažuje o změně tarifů za elektřinu, vzala si tato práce za snahu reflektovat obě zmíněné úskalí.

Na začátku práce jsem ohledal trh se solárními výrobky a určil dvě možné varianty pro následný projekt, jednak z pohledu čistě ekonomického a také z pohledu energetického. V tomto výběru jsem byl omezen rozměrem střechy a tím pádem byla plocha panelů zvolena na 21 m^2.

Druhou část práce jsem věnoval právní situaci, kde jsem popsal vývoj investičních dotací od počátku programu nová zelená úsporám až do současnosti a také jsem vyvodil podmínky pro získání jednorázové investiční dotace v řádu 55 000 CZK.

V třetí části jsem se věnoval možnostem využití FVE instalované na RD, které se rozděluje do několika kategorií a podkategorií. Mezi dvě nejdůležitější dělení patří varianty bez akumulace a s akumulací. Tuto práce jsem zasvětil pouze variantě bez akumulace elektrické energie.

Klíčovým prvkem této práce je pak kapitola pátá, ve které jsem se věnoval samotné vyrobené elektrické energii a poté jak získat z této elektrické energie největší užitek. Tyto výstupy jsem podložil výpočty z přílohy 1, které vedly na výsledné citlivostí analýzy popsané v příslušných podkapitolách, ze které nejlépe vychází kombinovaná spotřeba s maximalizací využití vlastně vyrobené elektrické energie.

Větší výroba neznamená větší zisk, protože prodávaná elektrické energie má prakticky desetinou cenu oproti energii nakoupené, takže rozdíl ve vyrobené prodané elektrické energii je opravdu jen marginální. Větší výroba ale může znamenat větší úspory a to pokud větší výrobu umíme a můžeme využít například optimalizací. I v tomto projektu by se dalo dosáhnout dalších úspor a tedy zvětšení celkového zisku, ale zahrnovalo by to i další investiční výdaje a výměnu stávajících spotřebičů v domě.

Nejlepší možností mi vyšla varianta B za stávající tarifní struktury, která po lehké optimalizaci dosáhne NPV 81 371 CZK. Pro dosažení takovéto NPV je zapotřebí, aby provozovatel RD řádně dodržoval čištění fotovoltaických panelů, aby tak udržel maximální provozní výkon. Dále jednou za čtyři roky nechal celou FVE zrevidovat, tím lze lépe předcházet havárii a případné odstávce z důvodu oprav. V neposlední řadě musí naprogramovat spotřebiče s možností odloženého startu tak, aby pracovaly v období přebytku vlastní elektrické energie. Při dodržení těchto podmínek a při přiznání investiční dotace je za stávající tarifní struktury tato NPV dosažitelná.

Ještě výhodnější variantou by pak bylo nechat spotřebiče dosloužit a následně při nahrazování se poohlédnout po variantách, které by dokázaly vyplnit období maximální výroby a tím zefektivnit strukturu spotřeby a výrazně ušetřit a to i nad rámec tohoto projektu.

Jedním takovým krokem byl už přechod k jiné nízkoenergetické variantě osvětlení pomocí technologie LED. Nezbytným krokem ke zlepšení využití vlastně vyrobené energie je také optimalizace spotřeby uživateli, ale v tomto případě závisí hodně na komfortu, a pokud si člověk chce uvařit kávu, tak nejspíše nebude čekat, až bude svítit Slunce, ale uvaří si ji ihned.

Celé téma malé fotovoltaiky a decentralizovaného energetické systému je velice aktuální téma, které se díky své čerstvosti mění každým rokem, a to jednak v rámci rychlého technologického vývoje, pak ale i standardizací a masovou výrobou, která vede ke snížení cen.

V neposlední řadě se jedná i o takzvaný ekologický trend, který vede lidi k investici do čistších zdrojů elektrické energie.

Tato práce je určitě přínosem pro fyzické osoby, které plánují nebo alespoň přemýšlí o snížení nákladů na elektrickou energii, případně o osamotnění se od vlivu trhu a provozovatelů DS.

Celkové téma fotovoltaiky na RD je téma velmi rozsáhlé a tato analýza dává prostor jen některým variantám. Určitě by stálo zato prozkoumat situaci s akumulací elektrické energie, případně s akumulací tepla. Zvlášť zajímavá bude tato otázka za pár let, kdy by již ceny baterií mohly klesnout na přijatelné hodnoty pro koncové zákazníky a tím by tuto problematiku mohlo řešit více a více fyzických osob.

Rád bych se k této problematice ještě někdy v budoucnu vrátil a věnoval se ji dále a podrobněji například v rámci diplomové práce, protože moderní inteligentní domy (Smart Homes) jsou opravdu otázkou blízké nevyhnutelné budoucnosti a s tím je úzce spojená otázka flexibilní dodávky elektrické energie.

Seznam obrázků

Obrázek 1 *PVGis: Mapa dopadu slunečního záření na ČR* [online]. [cit. 2015-12-29]. Dostupné z: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eu_cmsaf_opt/G_opt_CZ.png

Obrázek 2 *Google Maps: Online Mapy Google* [online]. [cit. 2015-12-29]. Dostupné z: https://www.google.cz/maps/@49.9722887,14.5073109,20.17z?hl=en

Obrázek 3 *Rozměry střechy RD: Vektorové schéma RD*

Obrázek 4 *Denní diagram spotřeby: Odhad denního zatížení RD neoptimalizovaný*

Obrázek 5 *Denní diagram spotřeby: Odhad denního zatížení RD optimalizovaný*

Obrázek 6 *Obchod Solar: Fronius Symo 3.7-3-S LIGHT* [online]. [cit. 2015-11-17]. Dostupné z: http://www.obchodsolar.cz/fronius/symo-3-7-3-S-light

Obrázek 7 *PVGis: Performance of Grid-connected PV* [online]. [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe

Obrázek 8 *PVGis: Performance of Grid-connected PV* [online]. [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe

Obrázek 9 *Lineární úbytek výkonu: Graf lineárního úbytku výkonu v závislosti na čase*

Obrázek 10 *Koláčový graf: Tarifní struktura současné ceny elektrické energie*

Obrázek 11 *Koláčový graf: Tarifní struktura plánované ceny elektrické energie*

Obrázek 12 *Solární výroba: Formy výkupu elektřiny* [online]. [cit. 2015-12-29]. Dostupné z: http://www.solarnivyroba.cz/formy-vykupu-vyrobene-elektriny

Obrázek 13 *SVP Solar: Schéma zapojení FVE pro rodinné domy* [online]. [cit. 2016-03-05]. Dostupné z: http://www.svp-solar.cz/fotovoltaika/fot-rodinne-domy/schema-zapojeni-fve-do-site/

Obrázek 14 *SVP Solar: Schéma zapojení HFVE pro rodinné domy* [online]. [cit. 2016-03-05]. Dostupné z: http://www.svp-solar.cz/2012/03/chcete-byt-mene-zavisli-na-cezu-poridte-si-hybridni-fotovoltaickou-elektrarnu/

Obrázek 15 *Sloupcový graf: Denní průběh toku elektrické energie*

Obrázek 16 *Sloupcový graf: Meziroční růst cen elektrické energie*

Obrázek 17 *Citlivostní analýza: Závislost NPV na diskontní míře*

Obrázek 18 *Citlivostní analýza: Závislost NPV na dotační míře*

Obrázek 19 *Citlivostní analýza: Závislost NPV na výkupní ceně*

Obrázek 20 *Citlivostní analýza: Závislost ΔNPV na diskontní míře*

Obrázek 21 *Citlivostní analýza: Závislost ΔNPV na výkupní ceně*

Obrázek 22 *Citlivostní analýza: Závislost ΔNPV na nákupní ceně*

Obrázek 23 *Citlivostní analýza: Závislost ΔNPV na meziročním růstu cen elektrické energie*

Seznam tabulek

Tabulka 1 *Rozdíl ve spotřebě elektrické energie za osvětlení*

Tabulka 2 *Spotřební odhad RD: Odhad roční spotřeby RD*

Tabulka 3 *Porovnání fotovoltaických panelů: Srovnání panelů*

Tabulka 4 *Porovnání fotovoltaických panelů: Vybrané varianty*

Tabulka 5 *Celková cena malé FVE: Suma investičních nákladů*

Tabulka 6 *Nová zelená úsporám: Tabulka Podkategorie C3* [online]. [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/rodinne-domy/3-vyzva-rodinne-domy/vyse-podpory-3-vyzva/

Tabulka 7 *Tabulka roční výroby elektrické energie: Měsíčně vyrobené hodnoty elektrické energie*

Tabulka 8 *Tabulka výroby elektrické energie: Za celou životnost projektu*

Tabulka 9 *Průměrná výroba v letním a zimním období*

Tabulka 10 *Přehled toků elektrické energie v RD pro rok 2016*

Tabulka 11 *Nominální hodnoty projektu malé FVE*

Tabulka 12 *Přehled důležitých hodnot s tarifikací T-2015*

Tabulka 13 *Přehled důležitých hodnot s tarifikací T-2016*

Seznam příloh

Příloha 1 Ekonomický model a výpočty

Příloha 2 Detailní rozpis výpočtu roční platby za dodávku elektřiny T-2015

Příloha 3 Cenový kalkulátor ERÚ vstupní údaje T-2015

Příloha 4 Detailní rozpis výpočtu roční platby za dodávku elektřiny T-2016

Příloha 5 Cenový kalkulátor ERÚ vstupní údaje T-2016

Seznam symbolů a zkratek

AAU	Jednotka přiděleného množství (Assigned Amount Unit) rovná se 1 tuna skleníkových plynů do ovzduší v období 2008-2012
NZU	Nová zelená úsporám
ERÚ	Energetický regulační úřad
OZE	Obnovitelný zdroj energie
FVE	Fotovoltaická elektrárna (PVP, PVS)
HFVE	Hybridní FVE (Nabízí možnost akumulace elektrické energie)
RD	Rodinný dům
DS	Distribuční síť
STC	Standardní testovací podmínky pro FV panely, radiace 1000 W/m^2 a teplota okolí 25°C
UPS	Zdroje nepřerušovaného napájení (Uninterruptible Power Supply)
S	Plocha v metrech čtverečních
G	Sluneční radiace v kWh/m^2
η	Účinnost v procentech
i	Diskontní míra
P_{max}	Maximální nominální výkon [W]
CF	Peněžní tok (Cash Flow)
DCF	Diskontované CF (Discounted Cash Flow)
NPV	Čistá současná hodnota (Net Present Value)
CZK	Česká koruna
CAPEX	Investiční výdaje (Capital Expenditures)
OPEX	Provozní výdaje (Operating Expenditures)
S	Tržby (Sales)
VT	Vysoký tarif
NT	Nízký tarif

Použitá literatura

[1] Ministerstvo průmyslu a obchodu: Národní akční plán České republiky pro energie obnovitelných zdrojů [online]. [cit. 2015-11-02]. Dostupné z: http://www.mpo.cz/dokument120572.html

[2] GREGERSEN, Steven, GREGERSEN, Susan (ed.). Build Your Own Low-Budget Solar Power System. Amazon Digital Services LLC, 2014. ISBN 1502458322.

[3] HÄBERLIN, Heinrich. PV Energy Systems: PV Energy Systems, in Photovoltaics: System Design and Practice. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2012. ISBN 9781119976998.

[4] Nanosun Fotovoltaika: Canadian Solar Technické Listy [online]. [cit. 2015-11-11]. Dostupné z: http://www.nanosun.cz/media/technicke-listy/CANADIAN-SOLAR-250-260W.pdf

[5] Obchod Solar: Fronius Symo 3.7-3-S LIGHT [online]. [cit. 2015-11-17]. Dostupné z: http://www.obchodsolar.cz/fotky13919/fotov/_ps_491Fronius-SYMO-datasheet.pdf

[6] PVGis: Performance of Grid-connected PV [online]. [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe

[7] Omron: IP rating standard [online]. [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: http://www.omron.com/ecb/products/pdf/protection.pdf

[8] Zelená úsporám: Nevrátné dotace. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-10-24]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Zelen%C3%A1_%C3%BAspor%C3%A1m

[9] ERÚ: Často kladené dotazy [online]. [cit. 2016-03-19]. Dostupné z: https://www.eru.cz/poze/casto-kladene-dotazy#3

[10] Ministerstvo životního prostředí ČR: Přijímání žádostí o dotace z programu Zelená úsporám bude pro rok 2010 od konce října přerušeno [online]. [cit. 2015-10-24]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/news_tz101025ZU_preruseni

[11] *Kjótský protokol: Ratifikace* [online]. [cit. 2015-10-24]. Dostupné z: http://unfccc.int/files/essential_background/kyoto_protocol/application/pdf/kpstats.pdf

[12] Investiční web: Emisní povolenky: vývoj kurzu v EUR [online]. [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: http://www.investicniweb.cz/kurzy/detail/eex-european-energy-exchange/carbon-dioxide-eua/eur/233/

[13] Ministerstvo životního prostředí ČR: Program Zelená úsporám získal další prostředky [online]. [cit. 2015-10-24]. Dostupné z: http://www.zelenausporam.cz/clanek/193/1166/program-zelena-usporam-ziskal-dalsi-prostredky/

[14] Nová zelená úsporám: O programu [online]. [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/rodinne-domy/3-vyzva-rodinne-domy/o-programu-3-vyzva/

[15] Nová zelená úsporám: Výše podpory [online]. [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/rodinne-domy/3-vyzva-rodinne-domy/vyse-podpory-3-vyzva/

[16] ERÚ: Energetická kalkulačka [online]. [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: http://kalkulator.eru.cz/

[17] Fotovoltaika HFVE: Chcete být méně závislí na ČEZu? Pořiďte si hybridní fotovoltaickou elektrárnu!. SVP Solar [online]. [cit. 2016-03-05]. Dostupné z: http://www.svp-solar.cz/2012/03/chcete-byt-mene-zavisli-na-cezu-poridte-si-hybridni-fotovoltaickou-elektrarnu/

[18] Technor: Technické Normy ČSN [online]. [cit. 2015-12-29]. Dostupné z: http://www.technicke-normy-csn.cz/331500-csn-33-1500_4_32590.html

[19] PVGis: Performance of Grid-connected PV [online]. [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe

[20] Solární Baroni: Revize FVE [online]. [cit. 2015-12-29]. Dostupné z: http://solarnibaroni.cz/revize-fotovoltaika/