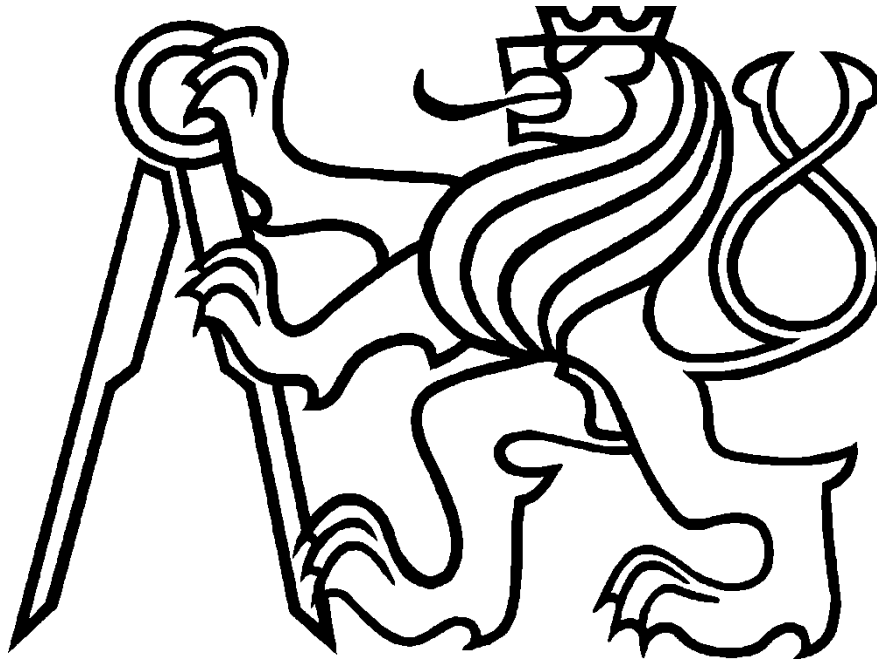


**České vysoké učení technické v Praze**

Fakulta elektrotechnická  
Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd



**Diplomová práce**

**Analýza projektu FVE na rodinném domě  
v současných legislativních podmínkách**

**Kalina Zbyněk**

Vedoucí práce: Ing. Josef Černohous

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Obor: Ekonomika a řízení v energetice

**Praha 2017**





## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kalina** Jméno: **Zbyněk** Osobní číslo: **393271**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Studijní obor: **Ekonomika a řízení energetiky**

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Analýza projektu FVE na rodinném domě v současných legislativních podmínkách**

Název diplomové práce anglicky:

**Family house PV power plant project analysis under present legislative conditions**

Pokyny pro vypracování:

- legislativní podmínky pro výstavbu a provoz malé FVE pro rok 2017
- ekonomická analýza výstavby a provozování malé FVE
- citlivostní analýzy projektu
- vyhodnocení zjištěných závěrů

Seznam doporučené literatury:

Kislingerová a kol: Manažerské finance, Beck  
Platné zákony ČR

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Josef Černošous, K13116 308b**

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

Datum zadání diplomové práce: **17.02.2017** 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 .....

\_\_\_\_\_

podpis autora





### **Poděkování**

Rád bych zde poděkoval svému vedoucímu, panu Ing. Josefu Černohousovi, za cenné rady a připomínky při konzultacích v průběhu vypracování této závěrečné práce a také za poskytnuté informace, které byly nezbytné pro celkovou analýzu konkrétního projektu FVE.







## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se věnuje tématu výstavby a provozování malé fotovoltaické elektrárny na střeše rodinného domu. Celá rozsáhlá problematika je rozebrána od dostupných technologií a principu fungování FVE až po analýzu reálného projektu. Práce je rozdělena do šesti hlavních částí.

V úvodní části jsou vytyčeny hlavní a vedlejší cíle. Také je zde nastíněno, jaký přínos by měla práce přinést a jaká bude její praktická využitelnost.

Následuje sekundární analýza. v té nalezneme rešerše literatury věnující se fyzikálnímu objevu fotovoltaického jevu a postupného vývoje fotovoltaických článků. Poté práce rozebírá vlastnosti současných dostupných technologií a technologií ve fázi výzkumu a vývoje. Dále je popsáno klimatické prostředí ČR, které je pro využití fotovoltaiky klíčové. v závěru části se práce zabývá způsoby zapojení elektrárny do veřejné sítě nebo pro ostrovní provoz.

Třetí kapitola obsahuje studii proveditelnosti pro konkrétní rodinný dům, jehož majitel zvažuje instalaci fotovoltaických panelů. Je rozebrána struktura spotřeby v objektu, parametry střechy a způsoby zásobování energií.

Poté jsou v práci zmíněny legislativní podmínky pro stavbu a provoz elektrárny. Například podmínky připojení do sítě, čerpání dotací, udělení licence nebo nakládání s přebytky elektřiny.

V páté kapitole je kompletní technicko-ekonomická analýza projektu. Jsou popsány možné varianty systémů dle nabídky dodavatele. z těchto konfigurací systémů jsou pak přes výpočetní model určeny energetické bilance a peněžní toky. Na základě ekonomické efektivity následuje výběr optimální varianty. Dále obsahuje řadu jednoparametrických citlivostních analýz.

V závěrečné části jsou shrnuty klíčové body práce, okomentovány získané výsledky a zhodnoceno splnění zadaných cílů.

## **Klíčová slova**

FVE na střeše RD, Nová zelená úsporám, NPV, TDD, spotřeba, akumulace energie





## Abstract

This diploma thesis deals with the construction and operation of the small photovoltaic power plant on the roof of the family house. The whole wide-ranging issue is handled beginning with available technologies and principle of photovoltaic effect up to the analysis of the real project. This work is consisted of six main chapters.

The introductory part includes stating the main and side goals. It also illustrates the benefit and practical use of this thesis.

Secondary analysis follows. In this section we find literature research dealing with the discovery of the photovoltaic phenomenon and the development of photovoltaic cells. After that, the properties of the available technologies and emerging technologies are analyzed. The description of the climatic environment of the Czech Republic, which is an essential factor for PV power plant operation, follows. The end of this part is focused on means of connection of the power plant to the public network and schemes for off-grid operation.

The third chapter includes a feasibility study for a particular family house whose owner is considering installing photovoltaic panels. The structure of consumption in the building, the parameters of the roof and the ways of energy supply are analyzed.

Then, the legislative conditions for the construction and operation of power plants are mentioned. For example, conditions for connecting to a network, drawing subsidies, granting a license, or managing the surplus electricity.

The fifth chapter is a complete technical and economic analysis of the project. There are described possible variants of the systems according to the supplier's offer. From these system configurations, energy balances and cash flows are determined through the calculation model. Based on the economic efficiency, choosing the optimal option follows. It also contains a series of single-parameter sensitivity analyzes.

The final part summarizes the key points of the work. It also evaluates the results obtained and the fulfillment of the assigned goals.

## Key words

Rooftop PV power plant, subsidies, NPV, load diagrams, energy storage





## Obsah

Seznam použitých zkratk	17
1 Úvod	19
1.1 Cíle práce	19
1.2 Motivace a smysl práce	19
2 Fotovoltaika	21
2.1 Historie	21
2.2 Praktické použití	23
2.3 Generace FV článků	24
2.3.1 První generace	24
2.3.2 Druhá generace	25
2.3.3 Třetí generace	25
2.4 Situace v ČR	25
2.5 Klimatické podmínky v ČR	26
2.6 Možnosti zapojení FVE	27
2.6.1 Ostrovní systémy	27
2.6.2 Systémy s připojením do distribuční sítě	30
3 Popis objektu – Studie proveditelnosti	32
3.1 Umístění budovy a její parametry	32
3.1.1 Adresa	32
3.1.2 Střecha	32
3.2 Zásobování teplem	33
3.3 Zásobování elektřinou	33
3.4 Přehled spotřebičů	34
3.5 Požadavky investora	35
4 Legislativní podmínky pro stavbu a provoz malé FVE	36
4.1 Stavební povolení	36



4.1.1	Územní řízení.....	36
4.1.2	Stavební řízení .....	36
4.1.3	FVE na střeších budov .....	36
4.1.4	FV panely na pozemku .....	37
4.1.5	Souhrn.....	37
4.2	Licence na provoz elektrárny .....	38
4.2.1	Souhrn.....	39
4.3	Režim prodeje elektřiny - výkupní cena, Zelený bonus .....	39
4.1	Režim prodeje elektřiny - smlouva s obchodníkem .....	40
4.2	Dodání přebytků elektřiny – sleva na silovou elektřinu .....	41
4.3	Nová zelená úsporám.....	41
4.3.1	O programu .....	41
4.3.2	Podporovaná opatření .....	42
4.3.3	Členění v závislosti na typu dotovaného objektu .....	42
4.3.4	Podpora pro bytové domy.....	42
4.3.5	Podpora pro rodinné domy .....	43
4.3.6	Podání žádosti .....	45
4.4	Souhrn.....	45
5	Technicko-ekonomická analýza projektu .....	46
5.1	Hlavní součásti FVS .....	46
5.1.1	FV panely.....	46
5.1.2	Střídač .....	46
5.1.3	Nosná konstrukce.....	47
5.1.4	Akumulační nádrže pro ohřev vody.....	48
5.1.5	Akumulátory (baterie).....	48
5.2	Dimenzování FVE .....	49



5.2.1	Souhrn.....	52
5.3	Možné varianty FVS.....	53
5.3.1	Varianta 0 - stávající systém.....	54
5.3.2	Varianta 1 – bez akumulace.....	54
5.3.3	Varianta 2 – s částečnou akumulací do vody.....	54
5.3.4	Varianta 3 – s akumulací do vody .....	55
5.3.5	Varianta 4 - s akumulací do baterií.....	55
5.4	Zdroje kapitálu pro investici, diskont.....	56
5.4.1	Ohodnocení vlastního kapitálu .....	57
5.4.2	Ohodnocení cizího kapitálu .....	57
5.5	Doba porovnání .....	58
5.6	Cena elektřiny.....	58
5.7	Tvorba peněžních toků – položky .....	59
5.7.1	Výdaje.....	59
5.7.2	Příjmy.....	59
5.8	Souhrn přijatých předpokladů .....	59
5.9	Bilance energie dle variant .....	60
5.10	Ekonomické efekty variant .....	61
5.11	Doporučená varianta .....	61
5.12	Citlivostní analýzy .....	62
5.12.1	Změna instalovaného výkonu .....	62
5.12.2	Změna ceny elektřiny.....	63
5.12.3	Změna složení kapitálu .....	64
5.12.4	Změna spotřeby RD .....	64
5.12.5	Změna počáteční investice.....	66
5.12.6	Změna počasí .....	67



5.12.7	Změna diskontu, nalezení IRR.....	68
5.12.8	Souhrn.....	69
6	Závěr .....	70
7	Citovaná literatura.....	73
8	Seznam prvků - Tabulky .....	75
9	Seznam prvků - Obrázky .....	75
10	Seznam prvků - Grafy .....	75
11	Seznam prvků - Přílohy.....	76





## Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
FVE, FV, FVS	fotovoltaická elektrárna, fotovoltaický, fotovoltaický systém
Wp	Watt peak, fyzikální jednotka, maximální dosažitelný výkon fotovoltaického panelu, článku, elektrárny
NN	Nízké napětí, v rozmezí od 50 v do 1 kV, v tuzemské síti typicky 400 v sdruženého napětí ve 3 fázích
VN	Vysoké napětí, 1 kV až 50 kV
VVN	Velmi vysoké napětí, 50 kV až 400 kV
ERÚ	Energetický regulační úřad
OTE	Operátor trhu s elektřinou
CF	Cash flow = peněžní toky
OZE	Obnovitelné zdroje energie
POZE	Podporované zdroje energie, takové zdroje energie, na které se vztahuje systém podpor upřesněný v cenových rozhodnutích Energetického regulačního úřadu
ČR	Česká republika
DS	Distribuční soustava
PDS	Provozovatel distribuční soustavy
PS	Přenosová soustava
PPS	Provozovatel přenosové soustavy
NT, VT	Nízký tarif, Vysoký tarif
RD	Rodinný dům
NZÚ	Nová zelená úsporám
ČNB	Česká národní banka





## 1 Úvod

V této úvodní části se budu věnovat určením hlavních a dílčích cílů závěrečné práce na téma *Analýza projektu FVE na rodinném domě v současných legislativních podmínkách*. Dále nastíním, jakých přínosů by toto vybrané téma mělo dosáhnout a o co budu v práci usilovat. Konečné zhodnocení veškerých aspektů, ať ekonomických, technických či ve smyslu dosažení předsevzatých cílů uvedu v závěrečné části této práce.

### 1.1 Cíle práce

Hlavním cílem, kterého se v této diplomové práci budu snažit dosáhnout, je, jak už plyne z názvu, zevrubná analýza konkrétní instalace nové FVE (fotovoltaická elektrárna) na střeše rodinného domu. Budu se zabývat jak legislativními podmínkami pro výstavbu a provoz elektrárny, samotným technickým řešením a vhodným dimenzováním instalovaného výkonu, tak i ekonomickým vyhodnocením projektu na bázi namodelovaného CF. U jednotlivých fází projektu budu uvažovat více variant možností realizace a pomocí citlivostních analýz a fundovaných předpovědí, abych dosáhl co nejvěrnějšího obrazu reality, a tak dosáhl co možná nejpřesnějších výsledků, které budou vzaty v úvahu investorem. To vše bude zohledněno pro rok 2017 jako rok zahájení investičních aktivit ( $T=0$ ). Většina vstupních parametrů pro ekonomické analýzy se může, jak vyplývá z historického vývoje, poměrně zásadním způsobem změnit, proto nasimuluji různé výchylky od předpokládaného budoucího vývoje. A ty následně ukáží, jak se celková efektivita projektu změní se změnou některého ze vstupů.

V neposlední řadě by také tato práce měla poskytnout čtenáři obecný pohled na problematiku instalace nových obnovitelných zdrojů využívajících sluneční energii. Od detailního popisu dostupných možností technologického řešení (typy dostupných fotovoltaických panelů, možnosti připojení k elektrizační síti, potřebné dílčí elektrotechnické zařízení), přes zákonem dané podmínky platné na území ČR (stavební povolení, licence pro výrobu elektřiny, ale i dotace na podporu OZE ze strany státu) až po optimalizaci využívání takového dostupného zdroje energie.

### 1.2 Motivace a smysl práce

Jednou z majoritních premis této práce je připravení podkladů pro reálný investiční záměr. Zadavatelem pro projekt je fyzická osoba vlastníci rodinný dům, která uvažuje o instalaci střešního fotovoltaického systému (dále jen FVS). Proto bude práce obsahovat



i konkrétní data, která jsou vztažena k dané lokalitě, kde se objekt nachází. Uvedu i odkazy, jak a kde zjistit parametry potřebné pro podrobný výpočet a dimenzování FVS, kdyby si například chtěl případně čtenář udělat analýzu pro svoji stavbu.

Dále bude sloužit čtenáři pro porovnání takového navrženého a propočteného FVS oproti nabídkám dodavatelských firem, které vesměs propagují střešní FVE jako ekonomicky výhodnou investici nesoucí snad jen samé výhody. Nejvíce je z jejich nabídek patrné, že se jejich hlavním marketingovým tahákem stává fakt, že tyto výstavby jsou přímo podporované státem formou finančních dotací. Proto se budu věnovat i této problematice. Uvedu jaké podpory je u nás možné čerpat, v jaké výši a za jakých podmínek.



## 2 Fotovoltaika

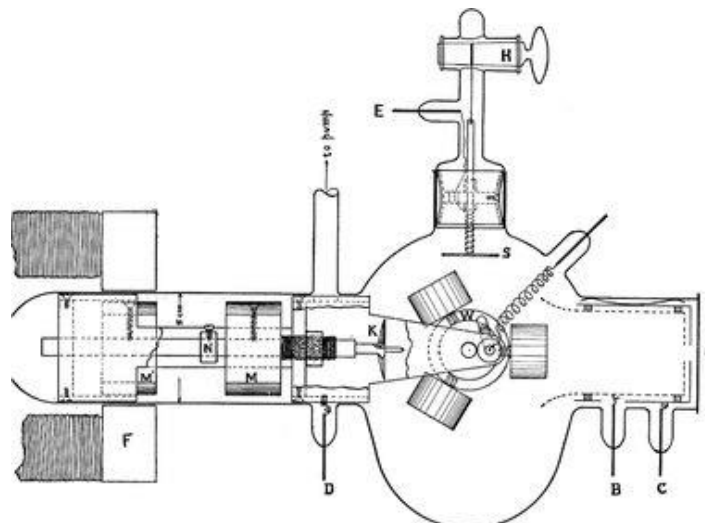
V této části si vysvětlíme především fyzikální podstatu fungování fotovoltaického jevu. Pokračovat budu uvedením stručného historického vývoje této technologie až ke dnes dostupným technologickým celkům. To bude zahrnovat i výčet komponent, které jsou potřeba pro bezpečný a bezproblémový provoz budovaného FVS. [1]

### 2.1 Historie

Alfou a omegou fungování panelů je takzvaný fotovoltaický jev. Před ním byl však objeven ještě jev fotoelektrický. Ten byl vůbec poprvé prezentován na francouzské Akademii věd roku 1839 fyzikem Alexandrem E. Becquerelem. Ten v experimentu zaznamenal, že proud mezi kovovými elektrodami ponořenými v roztoku se mění v závislosti na intenzitě osvětlení. Někdy se můžeme dočíst, že skutečným objevitelem mohl být i jeho otec Antoine César Becquerel, neboť 20 letý Alexandre dosud pracoval v laboratoři právě svého otce.

Další závislost elektřiny a světelného záření objevil Heinrich Rudolf Hertz v roce 1887, když zjistil, že elektrický výboj vznikne snadněji mezi elektrodami, na které dopadá ultrafialové záření. Svůj výzkum publikoval, ale nepodařilo se mu jev vysvětlit na základě vlnové teorie světla jako elektromagnetické záření.

Teprve Albert Einstein teoreticky popsal fyzikální princip fotoelektrického jevu začátkem dvacátého století. V roce 1905 publikoval práci *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt* (O jistém heuristickém hledisku na vznik a přeměnu světla), ve které na elektromagnetické pole aplikoval kvantovou teorii založenou na přelomu století dalším známým fyzikem Maxem Planckem. Z Einsteinovy hypotézy vyplývá, že energie uvolněného elektronu závisí pouze na frekvenci záření (energii fotonů) a počet elektronů na intenzitě záření (počtu fotonů). Právě za práce pro rozvoj teoretické fyziky, zejména objev zákonitostí fotoelektrického jevu obdržel Einstein v roce 1921 Nobelovu cenu za fyziku.



OBRÁZEK 1) EXPERIMENTÁLNÍ ZAŘÍZENÍ PROF. MILLIKANA<sup>1</sup>

Tuto teorii experimentálně potvrdil Robert Andrews Millikan v článku „A Direct Photoelectric Determination of Planck's  $h$ ” z roku 1916. Tyto experimenty a teorie zatím popisovaly fotoelektrický jev vnější, kdy fotoemisi. Při té se elektrony z vodivostního pásu z ozařovaného kovu uvolňují do okolí. Jev, kdy elektrony zůstanou v materiálu, se nazývá fotovoltaiický a právě jeho se při výrobě elektřiny pomocí slunečního záření využívá. Dále pak ještě existuje jev fotoionizace, ke kterému dochází při ozařování elektromagnetickým zářením o dostatečně vysoké frekvenci. Zpět ale k principu fotovoltaiického jevu. Při něm foton, který má dostatečnou energii, uvolní v polovodičovém materiálu elektron z valenčního pásu do vodivostního. Ve valenčním pásu tak zůstane tzv. díra, což je elementární kladný náboj. Pohybuje se tak, že se zaplní sousedním elektronem, po kterém zase zbyde další díra. Takto vznikají pohyblivé páry elektron-díra. Je-li v polovodičovém materiálu vytvořen PN přechod (dioda), pohybují se tyto náboje směrem k elektrodě se stejnou polaritou. Jsou-li elektrody propojeny vnějším obvodem, dochází k rekombinaci párů a na PN přechodu se indukují působením světla napětí a proud – PN přechod se stává zdrojem.

Fotovoltaiický jev poprvé pozorovali William Grylls Adams a jeho žák Richard Evans Day v roce 1876 na PN přechodu vytvořeném mezi selenem a platinou. Na rozdíl od fotoelektrického jevu pozorovaného Becquerelem, kdy se proud elektrického článku měnil působením světla, v tomto případě vznikalo elektrické napětí bez působení vnějšího elektrického pole pouze působením světla. Další, kdo vyrobil fotovoltaiické články na bázi

<sup>1</sup> Zdroj: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaiika/11652-strucna-historie-fotovoltaiiky>

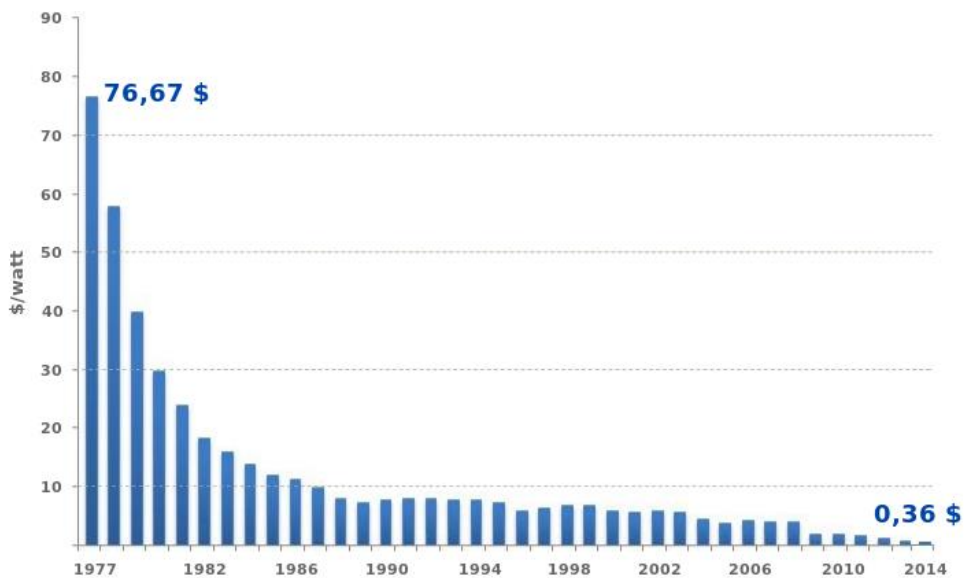


selenu, byl v roce 1883 americký vynálezce Charles Fritts, účinnost však byla nižší než 1 %. v roce 1940 Russell Shoemaker Ohl vyrobil PN přechod na křemíku a zjistil, že při osvětlení vyrábí proud. Svůj objev si nechal patentovat. Účinnost se pohybovala kolem 1 %.

## 2.2 Praktické použití

Roku 1954 byl v Bellových laboratořích vyroben první prakticky využitelný fotovoltaický článek pro výrobu elektřiny. Byl konstruován z monokrystalického křemíku a měl účinnost okolo 6 %. Od roku 1958 se začaly články využívat jako zdroj elektřiny na kosmických družicích, kde se tento způsob uplatňuje dodnes. Například na Mezinárodní kosmické stanici (ISS) je celkový instalovaný výkon FV panelů 110 kWp.

Kromě monokrystalických článků se v průběhu času dostávaly na trh i různé další tenkovrstvé technologie a jiné formy krystalických struktur. Jako základní materiál ale však stále dominuje křemík.



GRAF 1) VÝVOJ CENY KŘEMÍKOVÝCH FV ČLÁNKŮ<sup>2</sup>

První FV články se v 50. letech cenově pohybovaly v tisících dolarů za 1 Watt výkonu. Další negativní vlastností byl fakt, že na jejich výrobu se spotřebovalo více energie, než dokázaly za celou svou životnost vyprodukovat. Důvodem byla jednak velice nízká

<sup>2</sup> Zdroj: Bloomberg, New Energy Finance, [pv.energytrend.com/pricequotes.html](http://pv.energytrend.com/pricequotes.html), převzato z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaika#/media/File:Vyvoj\\_ceny\\_FV\\_clanku\\_od\\_1977.svg](https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaika#/media/File:Vyvoj_ceny_FV_clanku_od_1977.svg)



účinnost, ale také náročný proces výroby monokrystalického křemíku. Výhodou však je, že pro provoz nepotřebují obsluhu ani dodávku paliva.

Na zemi nacházely články uplatnění zprvu pouze jako zdroje napájení v odlehlých ostrovních systémech doplněných akumulátory, které se nedají lehce připojit do elektrizační sítě, jako jsou třeba bóje na moři.

Větší zájem o panely vyvolala až ropná krize v 70. letech minulého století. Od té doby se značně zvýšila účinnost, životnost a naproti tomu rapidně klesla cena panelů. Také výrobní procesy jsou nesrovnatelně efektivnější a méně energeticky náročné. Takže současné panely již vyprodukují několikanásobně více energie, než se spotřebuje na jejich samotnou výrobu. v provozu jsou v dnešní době ještě zdroje vybudované v průběhu 80. let a jejich úbytek výkonu se za tu dobu pohybuje okolo 20 %, což není špatný výsledek. Dnešní panely dosahují dle odhadů na základě zrychlených zkoušek zhruba poloviční úbytek.

Masivnějšího rozšíření se však fotovoltaika dočkala až s příchodem systémů státních podpor. Počátky můžeme najít především v Japonsku a Německu. A to díky zaručeným výkupním cenám elektřiny vyrobené v solárních elektrárnách. Také u nás se začala výstavba FV elektráren mohutně podporovat ze strany státu začátkem 21. století. O systémech podpory v ČR budu hovořit více v dalších kapitolách této práce. [2]

## **2.3 Generace FV článků**

Technologie fotovoltaických článků se dělí do takzvaných generací charakterizovaných společnými parametry. Mezi jednotlivými generacemi je vždy nějaký významnější rozdíl v účinnosti, ceně za watt a typu technologie a použitých materiálech. v současné době rozlišujeme 3 základní generace plus další technologie ve fázích výzkumu, které se většinou řadí do poslední, třetí generace.

### **2.3.1 První generace**

Jsou konstruovány na bázi krystalických křemíkových desek. Články rozlišujeme na monokrystalické a polykrystalické. Jejich účinnost FV přeměny se pohybuje mezi 16 - 19 % a vyznačují se také dlouhou stabilitou a životností. Díky vysoké spotřebě polovodičového materiálu (solární křemík) jsou poměrně drahé. Přesto patří mezi nejběžnější typ.





### 2.3.2 Druhá generace

Jsou koncipovány tak, aby se ušetřil potřebný základní materiál, a tím se staly panely cenově dostupnější. Oproti článkům první generace jsou 100 krát až 1000 krát tenčí díky tzv. tenkovrstvým technologiím. Patří sem například články vyrobené z amorfního nebo mikrokrytalického křemíku, ale také ze směsných polovodičových materiálů<sup>3</sup>. Pak také články se světlo-citlivými barvivy a s organickými polymery. Další výhodou pak je, že tyto tenké vrstvy se dají nanášet na různé podklady, jako např. sklo, plast, textil. Jejich hlavní nevýhodou je pak nízká účinnost, která v sériové výrobě nepřekračuje 10 %, a také životnost je zpravidla nižší než u první generace.

### 2.3.3 Třetí generace

Tato kategorie je zaměřena na zvyšování účinnosti panelů pomocí různých technik a nově použitých materiálů. Patří sem například vícevrstvé a koncentrátorové články. Většina těchto technologií je zatím ve fázi vývoje a není komerčně dostupná. U vícevrstvých článků každá vrstva využívá jinou část spektra a díky tomu dosahuje účinnosti až 65 % při šesti vrstvách. Teoretický limit při nekonečném počtu vrstev je 68 %. Komerčně dostupné jsou třívrstvé články s účinností okolo 30 %. Jejich cena za watt je však až 3 krát vyšší než u jednovrstvé technologie. Koncentrátorové články využívají k posílení slunečního toku zrcadla nebo Fresnelovy čočky a jsou také konstruovány ve více vrstvách. Pro třívrstvé články je teoretická dosažitelná účinnost 63 % a pro nekonečný počet vrstev až 86 %. Dále sem patří další technologie založené na organických člancích, kvantových člancích, anebo člancích, které využívají „horké“ nosiče náboje k podpoře tvorby více párů elektron-díra. [3][4]

## 2.4 Situace v ČR

Dle údajů od OTE, a.s.<sup>4</sup> k 30.6.2016 celkový instalovaný výkon FV elektráren 2 082,5 MW v 28 339 výrobních zdrojích. Z roční zprávy Energetického regulačního úřadu se z těchto elektráren za rok 2015 dodalo do sítě 2 244,2 GWh<sup>5</sup> elektrické energie. [5]

---

<sup>3</sup> Souhrnně označované jako CIS struktury, směsi jsou například kadmium-telurové, měď-iridium-selenové, měď-iridium-galium-selenové

<sup>4</sup> Operátor trhu s elektřinou, státní akciová společnost řídící trh s elektřinou a plynem, její pravomoci a povinnosti jsou definovány energetickými zákony a vyhláškami. Více na [www.ote-cr.cz](http://www.ote-cr.cz).

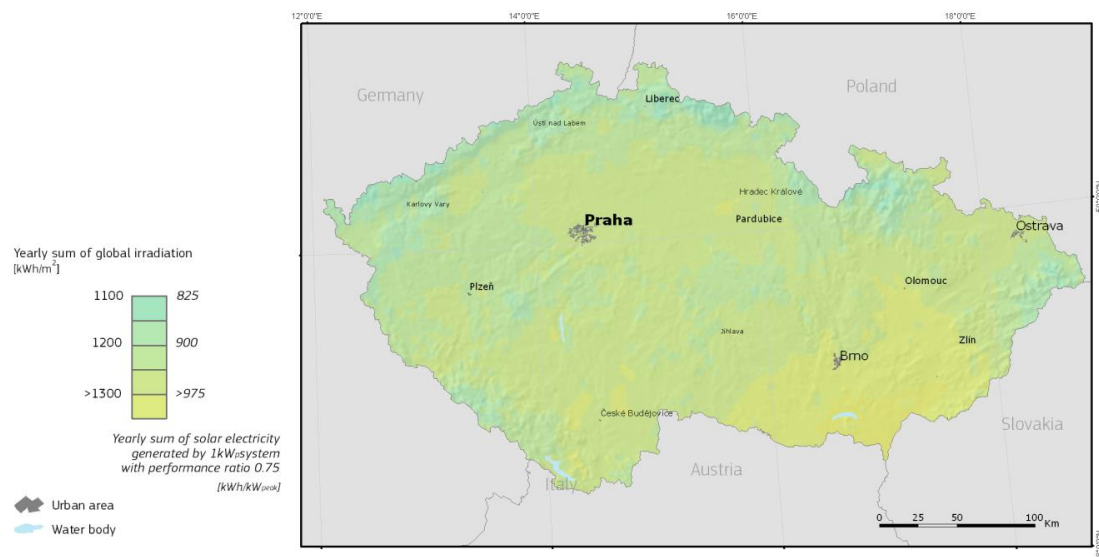
<sup>5</sup> Položka „Výroba elektřiny netto celkem“



## 2.5 Klimatické podmínky v ČR

Jak je zřejmé, výsledná energie je závislá výhradně na počasí. Zejména na intenzitě slunečního záření. Většinou se pracuje s ročním úhrnem světelného záření vyjádřeným počtem kilowatthodin výtěžitelných na 1 metru čtverečném za jeden rok. Kromě umístění na mapě však také závisí na smyslu umístění panelů. Ideální je, aby byly panely stále natočeny přímo na slunce. V reálu se panely montují většinou na fixní konstrukce, které natáčení v průběhu dne neumožňují a sluneční záření tak dopadá pod měnícím se úhlem, což snižuje konečný výkon. Optimální možností při fixní konstrukci je mít panely směřované na jih pod sklonem  $35^\circ$  až  $49^\circ$  s tím, že nižší úhel je výhodnější pro letní měsíce a vyšší pro ty zimní. Rozdíl je však pouze okolo jednotek procent výkonu. [6]

Pro každou zeměpisnou šířku a délku se tato hodnota liší. Pro ČR lze dohledat hodnoty například pomocí volně dostupné online databáze PVGIS<sup>6</sup>. Je to systém vytvořený výzkumným centrem Evropské komise, který k modelování používá data z měřících satelitů i pozemních meteostanic. Přimo ve webovém formuláři lze zadat přesnou polohu umístění elektrárny včetně parametrů výkonu elektrárny a střechy jako je její natočení (azimut), sklon nebo také ztráty v systému a rozvodech.



OBRÁZEK 2) ÚHRN SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ ČR<sup>7</sup>

<sup>6</sup> PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), dostupné na [www.re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe](http://www.re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe)

<sup>7</sup> Zdroj: [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu\\_cmsaf\\_opt/G\\_opt\\_CZ.png](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu_cmsaf_opt/G_opt_CZ.png)



Z této mapy je patrné, že ČR nemá nejideálnější podmínky pro stavbu FVE. Nejvíce svitu je v jihomoravském kraji, kde hodnoty dosahují až lehce nad 1300 kWh/m<sup>2</sup> ročně. Zbytek republiky se pohybuje v pásmu okolo 1150 kWh/m<sup>2</sup> ročně. Jižněji umístěné státy jsou na tom o poznání lépe. Například hodnoty na většině území Španělska jsou v rozmezí 1950 až 2200 kWh/m<sup>2</sup> v roce, což je téměř dvojnásobek.

Dalšími faktory ovlivňujícími produkci elektřiny ve FVE jsou:

- Nadmořská výška – vyšší polohy jsou výhodnější (řidší vzduch a menší pravděpodobnost mlhy a inverze).
- Míra znečištění atmosféry – množství částic v atmosféře, které blokují sluneční záření.
- Oblačnost – při vyšší oblačnosti dochází k pohlcení a rozptýlení slunečních paprsků a na zemský povrch pak dopadá pouze difúzní složka globálního záření<sup>8</sup>. FVE sice dokáže fungovat i jenom s touto složkou, ovšem pouze na minimálním výkonu.

Konkrétní hodnoty pro náš projekt budou uvedeny v části „Technicko-ekonomická analýza projektu“ této diplomové práce.

## 2.6 Možnosti zapojení FVE

Další dělení typů FVE spočívá v tom, jak je využita v nich vyrobená energie. Respektive jak je řešeno fyzické propojení elektrárny a spotřebičů, popř. distribuční sítě.

### 2.6.1 Ostrovní systémy

Nejsou napojeny na veřejnou síť a vše, co elektrárna vyrobí, se spotřebovává místně. To znamená, že v této realizaci není možný tok a tudíž ani prodej elektřiny do veřejné sítě. Užívá se například v odlehlých místech s neexistující infrastrukturou. Mohou jimi být například odlehlé domky a chaty, karavany a podobně. Jiný název pro takovéto zapojení může být „Autonomní systém“ nebo „off-grid systém“. Takovéto stavby zpravidla nemívají ani přístup k plynovodu, a tím pádem je FVE jedinou reálnou možností zásobování elektřinou.

Podle způsobu propojení a struktury spotřebičů ostrovní systémy dále dělíme na systémy s přímým napájením, systémy s akumulací a hybridní systémy.

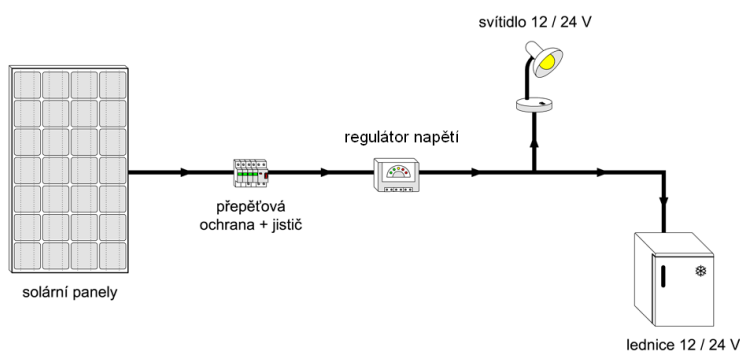
---

<sup>8</sup> Sluneční záření celkově, tedy „globální“, lze rozdělit na dvě složky – „přímé záření“ o vysoké intenzitě a „difúzní“, které má vlivem rozptýlení nižší intenzitu.



### 2.6.1.1 Systémy s přímým napájením

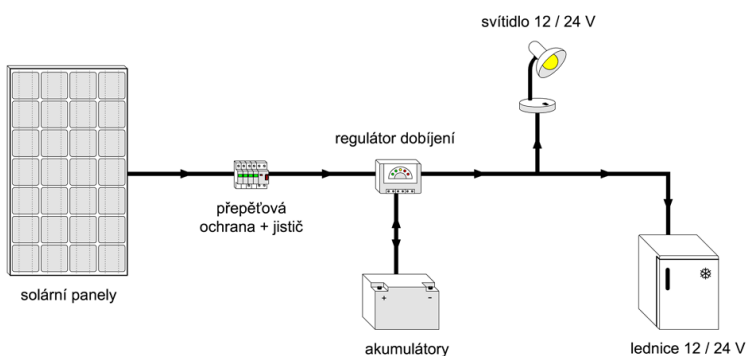
Tento typ zapojení nepočítá s žádnou možností akumulace energie a vše, co se v daném čase vyrobí, se ihned spotřebovává. Takovýto systém se na území České republiky v praxi nevyužívá, neboť k bezpečnému chodu spotřebiče by bylo zapotřebí dostatečného a především stabilního slunečního svitu.



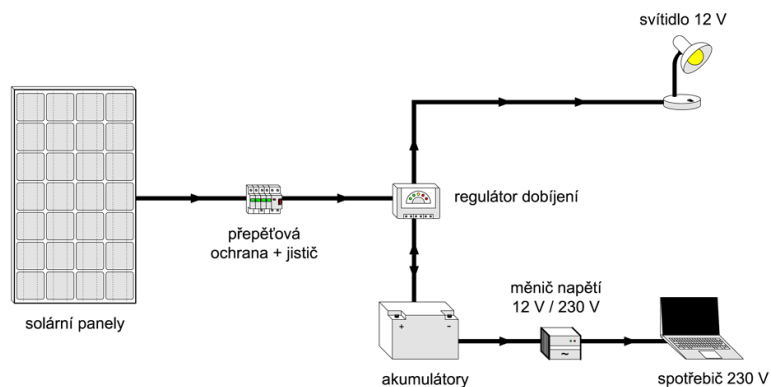
OBRÁZEK 3) SCHÉMA ZAPOJENÍ SYSTÉMU S PŘÍMÝM NAPÁJENÍM

### 2.6.1.2 Systémy s akumulací

Nevýhodu předchozího způsobu zapojení lze eliminovat použitím akumulčního systému. Díky tomu můžeme nespotřebovanou energii uchovávat v bateriích a využít ji i v době, kdy zrovna není dostatek slunečního záření pro provoz spotřebičů. Celý systém pak může pracovat se jmenovitým stejnosměrným napětím 12/24 V, nebo je zde možnost dovybavení střídačem, a pak lze provozovat i 230V okruh. Akumulace se dá také uvažovat ve smyslu využití vyprodukované elektřiny k ohřevu vody v nádrži. Úspora pak plyne z nižších nákladů na vytápění a ohřev vody.



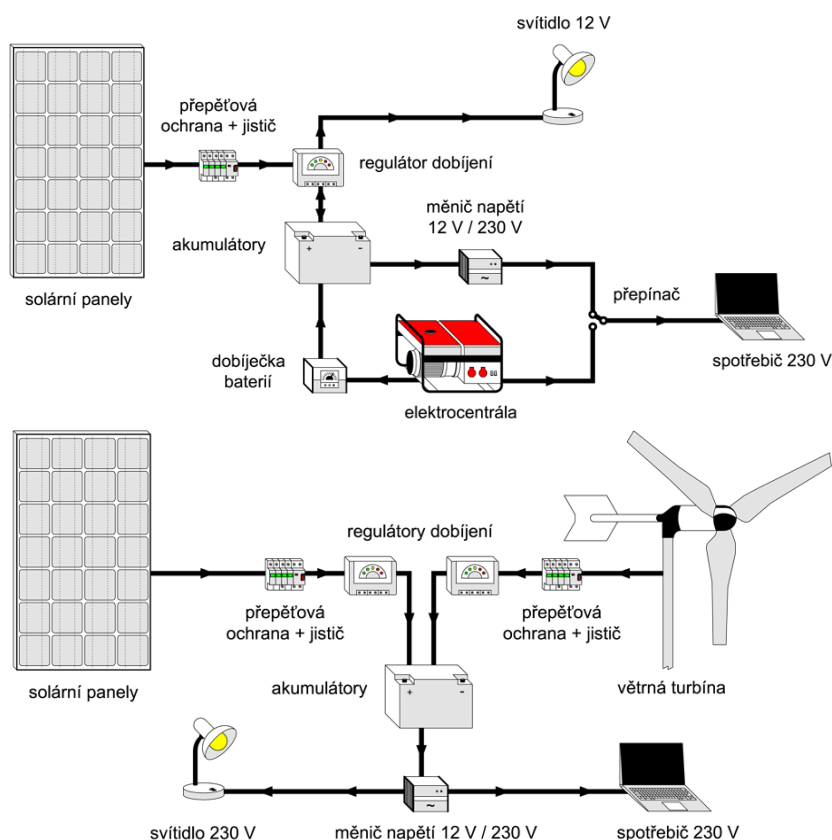
OBRÁZEK 4) SCHÉMA ZAPOJENÍ SYSTÉMU S AKUMULACÍ 12/24 V



OBRÁZEK 5) SCHÉMA SYSTÉMU S AKUMULACÍ 12/230 V

### 2.6.1.3 Hybridní systémy

Tyto systémy spočívají v doplnění FV panelů ještě nějakým dalším zdrojem elektrické energie. Nejčastěji se může jednat o elektrocentrálu, která slouží jako záložní zdroj, pokud panely s akumulátorem nedokáží dodat potřebnou energii v daném čase. Další cestou může být instalace jiného obnovitelného zdroje jako je malá větrná turbína.



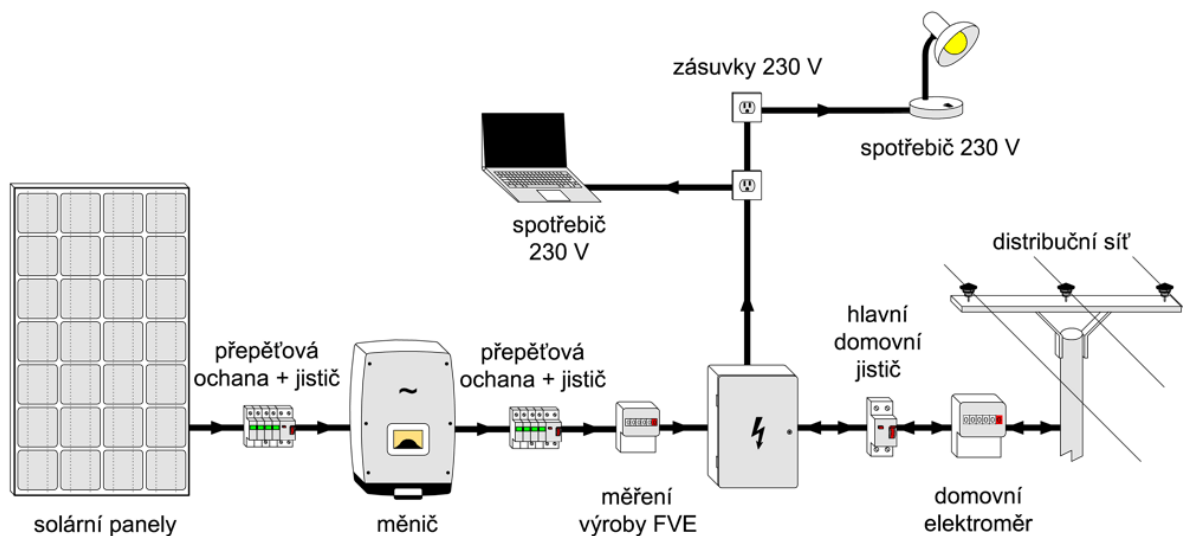
OBRÁZEK 6) SCHÉMA ZAPOJENÍ HYBRIDNÍCH SYSTÉMŮ<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Zdroj: <https://www.solarniexperti.cz/jak-funguje-ostrovni-off-grid-fotovoltaicky-system/>



## 2.6.2 Systémy s připojením do distribuční sítě

Druhou hlavní strukturou, a v praxi i nejčastěji využívanou, je systém s připojením do veřejné sítě. Označuje se i jako „síťový systém“ nebo „on-grid systém“. Hlavní výhodou je možnost odprodeje nespotebované energie. Na následujícím obrázku je vidět schéma možného zapojení. Opět platí stejně jako u ostrovních systémů, že se dá přes měnič (střídač) napojit přímo na 230V okruh a dále na distribuční síť nebo rozšířit systém o možnost akumulace. A to opět buď pomocí akumulátorů, nebo ohřevu vody.



OBRÁZEK 7) SCHÉMA ZAPOJENÍ PRO PŘIPOJENÍ DO DS<sup>10</sup>

### 2.6.2.1 Podmínky pro připojení do distribuční sítě

K připojení je třeba dodržet podmínky dané provozovatelem distribuční sítě. Jedná se hlavně o bezpečnost a zajištění parametrů elektřiny. Také je třeba nainstalovat průběhové měření, aby bylo jasné, kolik energie v jakém čase elektrárna do sítě dodala.

V našem případě, kdy je dům připojen k síti ČEZ Distribuce, a.s. se postupuje dle nařízení vyplývajících z dokumentu „Připojovací podmínky pro výrobní elektřiny“ z roku 2012. Vyplývá z něho následující:

- Je třeba vyplnit a odevzdat „Žádost výrobce elektřiny o připojení k distribuční soustavě“ a „Dotazník pro vlastní výrobu“ včetně povinných příloh. a to již ve fázi přípravy projektu.

<sup>10</sup> Zdroj: <https://www.solarniexperti.cz/jak-funguje-stresni-fotovoltaicka-elektrarna/>



- Provoz výroby nesmí zhoršit parametry kvality elektrické energie v místě připojení a způsobovat nedovolené změny napětí v DS. Zvýšení napětí vyvolané provozem připojené výroby nesmí v nejnepříznivějším případě překročit 3 % v síti NN ve srovnání s napětím bez jejího připojení.
- U výroben do výkonu 30 kW není požadována dálková regulace ani dálkové vypínání z dispečinku PDS.
- Mezi výrobnou a DS musí být umístěn rozpojovací prvek, který je přístupný pro pracovníky ČEZ Distribuce, a.s. a musí umožnit zajištění v poloze „Vypnuto“.
- Na jednu fázi lze bez zvláštních ochranných opatření připojit výkon max. 4,6 kW a jako měřicí zařízení se v přípojném místě použije třífázový čtyřkvadrantní elektroměr s průběhovým měřením, který je majetkem ČEZ Distribuce, a.s.. UFVE s výkonem v jedné fázi vyšším než 4,6 kW není zachována správná selektivní funkce integrovaných ochranných opatření a je nutné osadit centrální ochrany v místě přechodu výroby do DS.
- Pro případ přetoků nespotřebované elektřiny je zapotřebí mít uzavřenou „Smlouvu o výkupu“, jinak je nutné takovému toku zabránit (např. zpětným wattovým relé).
- Mít uzavřenou „Smlouvu o připojení“ pro paralelní připojení výroby [7]



### 3 Popis objektu – Studie proveditelnosti

V této části uvedu informace o stavbě, umístění, charakteru využívání budovy a o zajištění inženýrských sítí. Pro tento projekt budou stěžejní údaje týkající se hlavně střechy, napojení na energetické sítě a způsob využívání energie. Dům je obýván čtyřmi osobami (2 dospělí, 2 děti) v celodenním provozu s používáním běžných domácích spotřebičů.

#### 3.1 Umístění budovy a její parametry

Z rozhovoru s investorem jsem zjistil výchozí stav objektu a parametry zadání. Systém budu projektovat pro střechu novostavby rodinného domu o základní dispozici 4+1. Dům se nachází na katastrálním území obce Zlatá ve středočeském kraji. Obec Zlatá leží asi 25 km východně od hlavního města Prahy.

Rodinný dům má dvě užitná podlaží. v prvním nadzemním podlaží je vchod, chodba, technická místnost, koupelna s WC, pracovna, obývací pokoj, kuchyň, spíž a ze severní strany garáž. v druhém pak dva pokoje, dvě šatny, ložnice, WC, koupelna a chodba.

##### 3.1.1 Adresa

Obec: Zlatá (stavební úřad Úvaly)

PSČ: 250 83

Okres: Praha-východ

Kraj: Středočeský

##### 3.1.2 Střecha

Část střechy sedlové konstrukce, která směřuje na jihovýchod, má rozměry 14 m x 6 m, tedy plochu 84 m<sup>2</sup>. Nosná konstrukce střechy je tvořena z krokví z rostlého dřeva o rozměru 120x160 mm a nad garáží o rozměru 120x180 mm. Přesný azimut natočení objektu je 168° (odklon 12° od jihu směrem k východu). Jako krytina jsou použity klasické pálené tašky. Sklon této strany je 36°. Svým natočením a sklonem krovů je tato střecha velice blízko ideálním parametrům pro instalaci jakéhokoli typu solární elektrárny. Nosnost je dle projektanta více než dostatečná pro montáž fotovoltaiky. Navíc není nijak stíněna okolními budovami nebo vegetací. Svými rozměry umožňuje montáž až 42 FV panelů standardní velikosti (1650 mm x 995 mm) na výšku, tj. kratší hranou panelu dolů, bez přesahu.

Na severozápadní části střechy je jedno střešní okno a 1 m pod hřebenem střechy se nachází větrací otvory.





OBRÁZEK 8) STŘECHA RD PRO UMÍSTĚNÍ FVE

### 3.2 Zásobování teplem

Vytápění budovy je zajištěno tepelným čerpadlem. Model Premiumline HQ C6 od švédské firmy IVT disponuje topným výkonem 5,6 kW. Bylo do objektu nainstalováno a uvedeno do provozu v roce 2014. Součástí tepelného čerpadla je akumulární nerezová nádrž o objemu 186 litrů a elektrokotel, který disponuje elektrickou topnou spirálou o výkonu 6 kW, která je standardně nuceně vypnutá a je s ní počítáno jako se záložním zdrojem tepla.

Samotné vytápění je pak řešeno podlahovým topným systémem.

### 3.3 Zásobování elektřinou

Dům je napojen do veřejné sítě NN (230 V, 3x25A jistič), kterou spravuje distribuční společnost ČEZ Distribuce, s.r.o.; Dodavatelem elektřiny je pak ČEZ Prodej, s.r.o.; Vzhledem k tomu, že dům využívá tepelné čerpadlo, podléhá kalkulaci dle distribuční sazby D 56d. Tato sazba má NT trvajících 22 hodin denně a VT po 2 hodiny denně.

Dům byl připojen do sítě teprve před 3 lety, a tudíž historický vývoj fakturace za elektřinu není ze statistického hlediska dostatečný pro určení střední hodnoty. Dle investora by se však budoucí spotřeba měla pohybovat víceméně poblíž hodnot roku 2015 a neměla by vykazovat významné rostoucí ani klesající tendence (2016 byl ovlivněn nadprůměrně dlouhou zimou a od roku 2017 navíc nastupuje další člen rodiny do práce, díky těmto dvěma faktům, by se tedy měla dle odhadu vrátit zvýšená spotřeba z roku 2016 zpět k úrovni 2015). Spotřeba



elektrické energie za rok 2015 byla 5 910 kWh (za rok 2016 o 420 kWh více, tedy celkem 6 331 kWh). V další části bude následovat detailnější výčet spotřebičů a odhad jejich ročního využití.

### 3.4 Přehled spotřebičů

Místnost	Spotřebič	Příkon	Jednotka	Denní využití [h]	roční spotřeba [kWh]
Pracovní pokoj	PC + LCD Monitor	300	W	4	438,00
	LED 3 W	3	W	4	4,38
	SVĚTLO 60 W	60	W	0,5	10,95
	TISKÁRNA	100	W	0,01	0,37
Kuchyně	MIKROVLNKA	1400	W	0,1	51,10
	LEDNICE	760	W	dle štítku	217,00
	TROUBA	2250	W	0,2	164,25
	MYČKA	1100	W	0,5	200,75
	RYCHLOVARNÁ KONVICE	2200	W	0,1	80,30
	TOUSTOVAČ	700	W	0,05	12,78
	SVĚTLO 2 x 7 W	14	W	1	5,11
	SVĚTLO 60 W	60	W	3	65,70
Obývací	TV	50	W	5	91,25
	DVD	80	W	0,1	2,92
	STOJACÍ LAMPA	40	W	0	0,00
	NTB	45	W	2	32,85
	LUSTR 60W	60	W	2	43,80
	SVĚTLO 2 x 3 W	6	W	2	4,38
Prádelna	PRAČKA	1100	W	0,5	200,75
	SUŠIČKA	1800	W	0,5	328,50
	SVĚTLO 50 W	50	W	1	18,25
Technická místnost	SVĚTLO 30 W	30	W	0,01	0,11
	TEPELNÉ ČERPADLO	5900	W	dle odečtu	3400,00
	ROUTER AP	17	W	24	148,92
	CENTRÁLNÍ VYSAVAČ	2500	W	0,1	91,25
	SEKAČKA NA TRÁVU	1500	W	0,2	109,50
	PRŮMYSLOVÝ AUTOMAT	20	W	1	7,30
Ostatní	SVĚTLO 2 x 3 W	6	W	2	4,38
	SVĚTLO 50 W	50	W	3	54,75
	VRTAČKA	800	W	0,05	14,60
	BRUSKA	1200	W	0,05	21,90



Ložnice	RÁDIO	17 W	1	6,21
	LAMPA	6 W	0,5	1,10
	LAMPA	6 W	0,5	1,10
	LUSTR	50 W	0,2	3,65
Koupelna	SVĚTLO 30 W	30 W	1	10,95
	SVĚTLO 12 W	12 W	0,5	2,19
	VYSOUŠEČ VLASŮ	1300 W	0,05	23,73
Pokoje	RÁDIO	13 W	0,5	2,37
	SVĚTLO 12 W	12 W	1	4,38
	SVĚTLO 50 W	50 W	1	18,25
	TV	40 W	1	14,60
	SVĚTLO 50 W	50 W	0,05	0,91
<b>Celková roční spotřeba elektrické energie [kWh/rok]</b>				<b>5915,51</b>

TABULKA 1) VYBAVENOST RD SPOTŘEBIČI

### 3.5 Požadavky investora

Primárním cílem instalace FVS je ušetřit na nákupu elektřiny od dodavatele a pokud to bude možné, vyrobenou energii akumulovat do horké vody a nadvýrobu prodávat do sítě. Pokryt by se měla zejména okamžitá spotřeba tepelného čerpadla, které má z elektrických spotřebičů v domě nejvýznamnější příkon a tím, že je využíváno po většinu času, tak spotřebovává nejvíce energie. Pokud by se prodej přebytků nevyplácel, mohlo by být vhodnější instalovat do domu např. klimatizaci nebo rekuperaci vzduchu a zvýšit tak uživatelský komfort užívání domu. Počítá se s tím, že v létě, kdy panely vyrábí nejvíc a není potřeba vytápět, by se energie využila spíše k napájení nových spotřebičů. Popřípadě by v letním režimu byl ohřev vody realizován pouze elektrokotlem s topnou spirálou a tepelné čerpadlo by bylo trvale vypnuté.



## 4 Legislativní podmínky pro stavbu a provoz malé FVE

### 4.1 Stavební povolení

Hlavním předpisem, podle kterého se řídí povolování staveb je Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu, zkráceně stavební zákon. Stavby obecně před svojí realizací mohou procházet dvěma povoloovacími řízeními – územním řízením a stavebním řízením.

Veškeré záležitosti stavebního práva řešíte s místně příslušným stavebním úřadem nebo stavebním odborem na magistrátech větších měst. Seznam všech stavebních úřadů v ČR lze nalézt online na [www.statnisprava.cz](http://www.statnisprava.cz).

#### 4.1.1 Územní řízení

Územní řízení je schvalovací proces, kdy se řeší umístění staveb na daném pozemku a v daném území. Výsledkem územního řízení může být územní rozhodnutí, územní souhlas nebo veřejnoprávní smlouva.

#### 4.1.2 Stavební řízení

Stavební řízení je proces schválení konkrétní podoby stavby, jejích technických parametrů a předpokládaného způsobu provedení. Některé stavby vyžadují ohlášení, některé stavby musí být schváleny formou stavebního povolení, některé jednodušší stavby nebo stavební úpravy nevyžadují ani ohlášku, ani stavební povolení. Ohlašované stavby a stavby vyžadující stavební povolení jsou do užívání uvedeny získáním kolaudačního souhlasu, který vydává stavební úřad.

#### 4.1.3 FVE na střechách budov

U fotovoltaických elektráren umístěných na budovách se předpokládá vlastní spotřeba vyrobené elektřiny v daném objektu. v takovém případě se nejedná o výrobu elektřiny, ale o technické zařízení stavby, na kterou se solární panely umisťují. Panely na výrobu energie jsou pak nedílnou součástí stavby.

Instalace solárních panelů na stávající budovu je změnou dokončené stavby, nebo-li stavební úpravou. Na stavební úpravy se podle § 79 odst. 6 stavebního zákona nevyžaduje územní rozhodnutí ani územní souhlas.



Poté platí dle § 103 odst. 1 písm. d) stavebního zákona, že stavební úpravy nevyžadují ohlášku ani stavební povolení za splnění následujících podmínek:

- Pokud se stavebními úpravami nezasahuje do nosných konstrukcí stavby, pokud se nemění vzhled stavby ani způsob užívání stavby, pokud se nevyžadují posouzení vlivů na životní prostředí a jejich provedení nemůže negativně ovlivnit požární bezpečnost stavby. Všechny tyto podmínky většina instalací solárních panelů splňuje.
- Výjimku tvoří instalace fotovoltaických panelů na stavby, které jsou nemovitou kulturní památkou, nebo pokud leží v nějakém zájmovém území, například CHKO.

#### 4.1.4 FV panely na pozemku

Pokud by se FVS nevešel na střechu nebo by střecha nebyla celkově vhodná, lze vystavět elektrárnu i na pozemku. Záměr umístit fotovoltaický systém na pozemku by v každém případě měl být předmětem územního řízení. Územní rozhodnutí je možné při splnění podmínek nahradit územním souhlasem podle § 96 stavebního zákona, tedy zjednodušeným územním rozhodnutím.

Podle § 103 odst. 1 písm. e) bod 9 stavebního zákona není u staveb pro výrobu energie vyžadováno stavební povolení ani ohlášení stavebnímu úřadu v případě, že jejich výkon nepřesáhne 20 kWp. Pokud chcete instalovat na pozemku fotovoltaickou elektrárnu o výkonu větším než 20 kWp, pak pro tuto stavbu potřebujete stavební povolení. Při uvedení do užívání takové stavby je pak nutné stavební úřad požádat o vydání tzv. kolaudačního souhlasu. [8]

#### 4.1.5 Souhrn

Z uvedených podmínek vyplývá, že pro běžnou instalaci FVS na střechu rodinného domu, který bude i nadále využíván primárně jako obytný objekt, není potřeba stavebního povolení. Stavba neleží v CHKO ani jiné oblasti s omezením výstavby. Sporným může být bod změny vzhledu stavby, někdy může záležet na konkrétním stavebním úřadu, jak na věc pohlíží. Z praxe a díky sedlové střeše (panely nebudou umístěny výš než nejvyšší bod střechy) lze říci, že z legislativního hlediska úpravy stavby nebude takovému projektu stran úřadu bráněno.



## 4.2 Licence na provoz elektrárny

K provozování elektráren (a dalších činností spojených s energetikou a teplárenstvím) je potřeba licence, kterou vydává ERÚ po splnění přesně stanovených podmínek.<sup>11</sup>

Z všeobecných podmínek je to dosažený věk 18 let, svéprávnost, bezúhonnost (výpis z rejstříku trestů) a odborná způsobilost žadatele nebo ustanoveného odpovědného žadatele. Dalšími jsou pak například finanční předpoklady, technické předpoklady (bezpečnost, technická dokumentace, revize) a majetkový vztah provozovatele k energetickému zařízení. [9]

Pro malé fotovoltaické elektrárny však platí jednodušší pravidla a mají řadu uvolnění od běžného postupu.

Novela energetického zákona (Zákon č. 458/2000 Sb., §3 odst. 3) ze dne 1. 1. 2016 zavedla jednu zásadní výjimku. Od tohoto data nemusí provozovatel FV elektrárny s instalovaným výkonem do 10 kWp žádat ERÚ o licenci, pokud je elektrárna provozována pro vlastní spotřebu. Takovouto elektrárnu je možné provozovat pouze na základě smlouvy o připojení uzavřenou s místním distributorem elektřiny. Zároveň by měl uzavřít smlouvu o odprodeji nespotřebovaných přebytků elektřiny, a to s libovolným obchodníkem s energií. Stávajícím FV elektrárnám s již udělenou licencí jejich licence zůstává a tato výjimka pro ně neplatí.

Další úlevou platnou pro FVE od 1. 1. 2016 (uzákoněno 3. 3. 2016) navazující na licenční výjimku je změna v daňovém systému. Výrobní elektřiny, k jejichž provozu není vyžadována licence, respektive příjmy z těchto výroben se nepovažují za podnikání. Takovéto příjmy spadají do kategorie ostatní příjmy<sup>12</sup> a až do výše 30 000 Kč jsou osvobozeny od daně z příjmu. Pokud roční úhrn příjmů z prodeje elektřiny nepřesáhne tuto hranici, nemusí se ani podávat daňové přiznání. Pokud by tuto hodnotu provoz FVE překročil, vyplynula by z toho povinnost podat daňové přiznání a poté postupovat buď podle toho jestli se jedná o hlavní

---

<sup>11</sup> Kompletní podmínky a potřebné formuláře jsou dostupné online na <https://www.eru.cz/udeleni-licence>

<sup>12</sup> Ostatní příjmy neplynou z podnikání a mají nahodilou nebo příležitostnou povahu. Řadí se sem například příjmy z příležitostného pronájmu, výnosy z prodeje plodů nebo z prodeje produktů domácích zvířat.



nebo vedlejší podnikatelskou činnost a podle toho řádně zdanit a vyměřit sociální a zdravotní pojištění. [10]

#### 4.2.1 Souhrn

Novely zákonů v posledních letech značně zjednodušily registraci i provoz malých FVE. V našem případě tak s elektrárnou s instalovaným výkonem do 10 kWp dimenzovanou primárně pro vlastní spotřebu v místě výroby nemusí majitel žádat o licenci od ERÚ. A pokud do sítě neprodá přebytky elektřiny za více než 30 000 Kč ročně, nemusí ani podávat daňové přiznání.

#### 4.3 Režim prodeje elektřiny - výkupní cena, Zelený bonus

Jednou z kompetencí ERÚ je dedikovat část státního rozpočtu pro podporu ekologicky šetrných zdrojů energie. Další finance se berou přímo od odběratelů elektřiny díky položce „Složka ceny na podporu elektřiny z podporovaných zdrojů energie“ zahrnuté v celkovém vyúčtování za dodávku elektřiny (pro rok 2017 tato částka činí 495 Kč na spotřebovanou MWh). Takové zdroje jsou zpravidla určeny včetně přesně definovaných mezí jejich parametrů v takzvaném cenovém rozhodnutí.

Následující tabulka je složena z hodnot, které jsou vyňaty z cenových rozhodnutí 9/2015 a 5/2016. Jsou v nich uvedeny výše podpor pro náš případ - Výroba elektřiny využitím slunečního záření.

Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		Jednotarifní pásmo provozování	
	od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)	Výkupní ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
Výroba elektřiny využitím slunečního záření	-	31.12.2005	-	-	7 717	7 067
	1.1.2006	31.12.2007	-	-	16 194	15 544
	1.1.2008	31.12.2008	-	-	15 794	15 144
	1.1.2009	31.12.2009	0	30	14 819	14 119
	1.1.2009	31.12.2009	30	-	14 710	14 060
	1.1.2010	31.12.2010	0	30	13 801	13 101
	1.1.2010	31.12.2010	30	-	13 692	13 042



1.1.2011	31.12.2011	0	30	8 280	7 580
1.1.2011	31.12.2011	30	100	6 517	5 867
1.1.2011	31.12.2011	100	-	6 073	5 423
1.1.2012	31.12.2012	0	30	6 669	5 969
1.1.2013	30.6.2013	0	5	3 691	2 991
1.1.2013	30.6.2013	5	30	3 064	2 364
1.7.2013	31.12.2013	0	5	3 236	2 536
1.7.2013	31.12.2013	5	30	2 632	1 932

TABULKA 2) VÝKUPNÍ CENY A ZELENÉ BONUSY PRO VÝROBU Z FVE

Jak je patrné, tento druh zdroje elektrické energie již v současnosti není nijak podporován. Na příspěvky byl nárok pouze pro elektrárny uvedené do provozu do 31.12.2013. Avšak tyto zdroje mají nárok na zelený bonus i výkupní cenu buď po celou dobu jejich životnosti, nebo aspoň po určitou garantovanou dobu. Pro tyto dva druhy podpor se systém do sítě musel připojit dle zvláštní specifikace dané pro každý typ odlišně. [11]

#### 4.1 Režim prodeje elektřiny - smlouva s obchodníkem

Tím, že v předchozích letech byl obrovský boom ve výstavbě fotovoltaických elektráren, vzniklo tak velké množství nedispečovatelných zdrojů. Tyto neřiditelné zdroje tak dodávají energii do sítě bez jakéhokoli ekonomického řízení výkonu. Největším problémem je, že dodávají maximální výkon zrovna v době, kdy není potřeba pokrývat špičky celorepublikového zatížení. Vzhledem k celkovým nákladům elektrárny vztažené na vyrobenou MWh za dobu životnosti (bez podpor) se jedná o poměrně drahou elektřinu, kterou by se měly pokrývat špičky dle strategie centrálního dispečinku, ovšem právě díky omezeným možnostem řízení dodávají elektřinu do základního zatížení. A z nařízení z dřívějšíka mají navíc distributoři povinnost výkupu z těchto zdrojů.

V dnešní době, kdy došlo k uvědomění, že prvotní nastavení systému podpor a výkupních podmínek z FVE se situace změnila k až opačnému extrému. Díky nevoli jsou dnešní výkupní ceny nabízené prodejci elektřiny většinou v rozmezí 0 až 0,5 Kč za dodanou kWh ze střešního FVS do 10 kWp instalovaného výkonu. Např. prodejce ČEZ nabízí cenu





0,3 Kč/kWh. Což není ani polovina ceny elektrické energie obchodované na energetické burze.<sup>13</sup>

## 4.2 Dodání přebytků elektřiny – sleva na silovou elektřinu

Jinou možností je v dnešní době novinka v podobě slevy na spotřebovanou silovou elektřinu. Z možností je to značně zjednodušující varianta, o přebytky se provozovatel malé FVE nemusí starat ani je nijak zvlášť fakturovat. Sleva se akorát automaticky odečte z faktury za elektřinu. Dle ceníku platného na rok 2017 od ČEZ Prodej s.r.o. vychází tato sleva na 0,324 Kč/kWh pro VT a 0,312 Kč/kWh pro NT včetně DPH.

## 4.3 Nová zelená úsporám

### 4.3.1 O programu

Je programem Ministerstva životního prostředí, který přes Fond životního prostředí ČR podporuje modernizace a rekonstrukce rodinných a bytových domů, které vedou ke snížení jejich energetické náročnosti. Například se může jednat o výměnu nevyhovujícího zdroje na vytápění, snížení tepelných ztrát budovy pomocí zateplení obálky budovy, výměnou oken a dveří nebo aplikaci obnovitelných zdrojů energie. Zdrojem financování tohoto programu je prodej nevyužitých 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. Tyto peněžní prostředky se následně alokují přes státní rozpočet ČR.

Hlavním cílem programu je naplnění dohod o zlepšení stavu životního prostředí snižováním produkce emisí znečišťujících látek a skleníkových plynů (především CO<sub>2</sub>). To z důvodu závazků např. z klimatické konference v Paříži nebo dalších zasedání Evropské Komise, kde se EU zavázala snížit produkci CO<sub>2</sub> o 20 % do roku 2020 oproti referenčnímu roku 1990. Jednotlivým státům je pak dle jejich místních reálných možností povinnost rozdělena, aby se 20% závazek za všechny členské státy naplnil. Pro ČR je to 14 %. Dalšími úkoly jsou pak úspora energie v konečné spotřebě, snížení energetické náročnosti státu a v neposlední řadě vytváří i sociální přínosy, kterými jsou třeba zvýšení kvality bydlení

---

<sup>13</sup> Dne 17. 3. 2017 se produkt Cal-18 (základní zatížení, silová elektřina pro rok 2018) na burze EEX prodával za 29,45 € (27,02 CZK/EUR \* 29,45 €/MWh = 795,7 Kč/MWh)



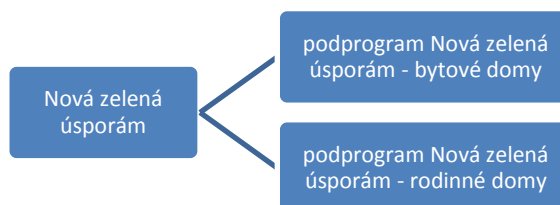
občanů, zlepšení vzhledu obcí, nastavení dlouhodobého pozitivního trendu ve smyslu zlepšující se životní úrovně atp.

Mimo finanční benefity pro domácnosti je Nová zelená úspora také nástrojem pro ekonomický stimul české ekonomiky, rozvoje podnikatelství v oblasti stavebnictví, strojírenství a dalších souvisejících oborech. Což s sebou nese i zajištění desítek tisíc pracovních míst. [12]

#### 4.3.2 Podporovaná opatření

V rámci programu lze požádat o jednorázovou dotaci vedoucí ke snížení investiční náročnosti rekonstrukce. Výše dotací jsou určeny dle toho, o jakou budovu se jedná a jaký druh rekonstrukce chceme provádět. Obecně platí, že čím větší efekt ve snížení energetické náročnosti rekonstrukce vyvolá, tím vyšší je míra podpory. Veškeré podmínky a podrobně rozepsané oblasti podporovaných rekonstrukcí jsou dostupné na [www.novazelenausporam.cz](http://www.novazelenausporam.cz). Zde uvedu jen stručnou kategorizaci možných dotací a pro oblast týkající se projektu této diplomové práce identifikuji konkrétní kategorii, výši a podmínky čerpání dotace.

#### 4.3.3 Členění v závislosti na typu dotovaného objektu



#### 4.3.4 Podpora pro bytové domy

**A. Snížování energetické náročnosti stávajících bytových domů** (zateplení obálky budovy - výměna oken a dveří, zateplení obvodových stěn, střechy, podlahy; výměna zdrojů tepla za efektivnější a ekologicky šetrné - obnovitelné zdroje, rekuperace tepla z odpadního vzduchu atp.)

**B. Výstavba bytových domů s velmi nízkou energetickou náročností**

**C. Efektivní využití zdrojů energie** (výměna původního hlavního zdroje na tuhá fosilní paliva nedosahující parametrů 3. emisní třídy za efektivní ekologicky šetrné zdroje; výměna elektrického vytápění za systémy s tepelným čerpadlem; výměn plynového vytápění za plynová tepelná čerpadla; instalace solárních termických a fotovoltaických systémů; instalace systémů nuceného větrání se zpětným získáváním tepla z odpadního vzduchu)



#### 4.3.5 Podpora pro rodinné domy

**A. Snižování energetické náročnosti stávajících rodinných domů** (zateplení obálky budovy - výměnou oken a dveří, zateplením obvodových stěn, střechy, stropu, podlahy)

**B. Výstavba rodinných domů s velmi nízkou energetickou náročností**

**C. Efektivní využití zdrojů energie** (výměna původního hlavního zdroje na tuhá fosilní paliva nedosahující parametrů 3. emisní třídy za efektivní ekologicky šetrné zdroje; výměna elektrického vytápění za systémy s tepelným čerpadlem; výměna plynového vytápění za systém s plynovým tepelným čerpadlem nebo za jednotku kombinované výroby elektřiny a tepla využívající jako palivo zemní plyn; **instalace solárních termických a fotovoltaických systémů**; instalace systémů nuceného větrání se zpětným získáváním tepla z odpadního vzduchu)

#### Podoblast C.3 - Instalace solárních termických a fotovoltaických (FV) systémů

Podoblast	Typ systému	Podpora [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 $\geq 1\,700$ kWh.rok-1	55 000
C.3.5	Solární FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 1\,700$ kWh.rok-1	70 000
C.3.6	Solární FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 3\,000$ kWh.rok-1	100 000

TABULKA 3) PODPORA NZÚ PRO PODOBLAST C.3

V následujících tabulkách jsou pak uvedeny konkrétní podmínky pro uznání dotací. Většinou se jedná o omezení minimem vyrobené roční energie z FVE a dostatečně dimenzovaného akumulačního zařízení.



### Požadavky na solární FV systémy v podoblasti podpory C.3.3:

Sledovaný parametr	Označení [Jednotky]	C.3.3
Dosažení minimálního pokrytí potřeby teplé vody	[%]	$\geq 50$
Instalace akumulčního zásobníku tepla o měrném objemu vztaženém k instalovanému výkonu solárního systému	[l.kWp-1]	$\geq 80$

TABULKA 4) POŽADAVKY PRO PODOBLAST PODPORY C.3.3

### Požadavky na solární FV systémy v podoblasti podpory C.3.4, C.3.5 a C.3.6:

Sledovaný parametr	Označení [Jednotky]	C.3.4	C.3.5	C.3.6
Celkový využitelný energetický zisk ze systému	$Q_{ss,u}$ [kWh.rok-1]	$\geq 1\,700$	$\geq 1\,700$	$\geq 3\,000$
Minimální míra využití vyrobené elektřiny pro krytí spotřeby v místě výroby	[%]	70	70	70
Akumulace přebytků energie do teplé vody	-	Povinná	Možná	Možná
Minimální měrný objem zásobníku teplé vody nebo akumulční nádrže	[l.kWp-1]	80	-	-
Akumulace přebytků energie do akumulátorů	-	Možná	Povinná	Povinná
Minimální měrná kapacita akumulátorů	[kWh.kWp-1]	-	1,75	1,75

TABULKA 5) POŽADAVKY PRO PODOBLAST PODPORY C.3.4, C.3.5 A C.3.6

Z detailních podmínek uvedených v dokumentu „Závazné pokyny pro žadatele RD“ platného od 9. 1. 2017 pak vyplývá ještě dalších pár požadavků. Podporovaná je instalace solárních termických a FV systémů do dokončených rodinných domů a do novostaveb rodinných domů (včetně rozestavěných). v podoblasti podpory C.3.4, C.3.5 a C.3.6 nesmí být maximální instalovaný výkon FV systému vyšší než 10 kWp. Další podmínkou je Euro účinnost měniče aspoň 94 % (92 % u hybridního). Účinnost mono/polykrystalických panelů alespoň 15 %. Nesmí se používat startovací olověné ani Ni-Cd baterie. Při použití moderních akumulátorů na bázi lithia je měrný koeficient požadavku 1,25 kWh/kWp. Navíc může být udělena podpora 5000 Kč na zpracování projektu.



#### **4.3.6 Podání žádosti**

Zažádat o podporu smí vlastník nebo stavebník rodinného nebo bytového domu, a to elektronickou formou (registrace do informačního systému Programu přes webové rozhraní; vyplnění elektronického formuláře žádosti; doručení žádosti včetně povinných příloh v listinné podobě na krajské pracoviště Fondu). Žádosti je možné podávat před zahájením, v průběhu nebo po dokončení realizace podporovaných opatření. Za způsobilé jsou považovány pouze výdaje za dodávky nebo služby prokazatelně zahájené a provedené po rozhodném datu, tedy maximálně 24 měsíců před datem zaevidování žádosti do informačního systému. [13]

#### **4.4 Souhrn**

V této části jsem uvedl obecné legislativní podmínky, které se týkají potenciální výstavby malé FVE na střeše. Především co a kde se musí hlásit před zahájením stavby, jaké a jak se dají čerpat podpory pro systémy různých typů a velikostí včetně podmínek. Samozřejmě, při objednání stavby FVE takzvaně „na klíč“ specializovanou firmou může v praxi dojít pro majitele nemovitosti ke zjednodušení. Tyto firmy většinou nabízejí v rámci projektů i vyřízení právních náležitostí včetně vyřízení žádosti o dotace, stačí sepsat a podepsat plnou moc.



## 5 Technicko-ekonomická analýza projektu

### 5.1 Hlavní součásti FVS

Tato sekce bude věnována průzkumu trhu k nalezení reálně dostupných produktů potřebných pro sestavení fotovoltaické elektrárny. Veškeré uvedené ceny jsou včetně DPH, které pro tyto prvky činí 20 %. v případě elektráren takzvaně „na klíč“ platí snížená sazba 15 %.

#### 5.1.1 FV panely

Na trhu je dnes celá řada výrobců klasických FV panelů (např. BenQ, Amerisolar, IBC...). Výkony jednotlivých panelů se většinou pohybují v rozmezí 250 až 260 Wp s pozitivní tolerancí výkonu. Standardní rozměr jednoho panelu o hmotnosti 20 kg je okolo 990 \* 1650 \* 40 mm. Jsou to zpravidla panely poskládané z polykrystalických článků s účinností okolo 16 % a garantovaným lineárním úbytkem výkonu do 20 % za 25 let. Výstupní jmenovité napětí panelu je okolo 32 V. Cena takového panelu činí 4500-5500 Kč.



OBRÁZEK 9) FV PANEL<sup>15</sup>

Jako nové možnosti se na veletrzích objevují články integrované přímo do střešní krytiny. Střecha pak vypadá stejně jako s konvenčními taškami a navíc nemusí nést tíhu nosné konstrukce a panelů samotných, což běžně bývá zhruba 22 kg na metr čtverečný. Tato speciální krytina však ještě není plně k dispozici na trhu a je zřejmé, že po uvedení do prodeje budou první generace nedokonalé i cenově nedostupné pro běžné domácnosti.

#### 5.1.2 Střídač

Jelikož fotovoltaické panely vyrábějí stejnosměrný proud o napětí dle toho, jak jsou zapojeny (v sérii, paralelně, popřípadě sérioparalelně), je třeba tento tok vhodně upravit pro použití ve spotřebičích nebo pro dodávku do sítě, když uvažujeme on-grid systém. K tomu slouží zařízení zvané střídač, který přeměňuje stejnosměrný proud na střídavý (50 Hz a 230

---

<sup>14</sup> Zdroj: [https://shop.iftech.cz/3315-large\\_default/solarni-panel-benq-260wp-poly.jpg](https://shop.iftech.cz/3315-large_default/solarni-panel-benq-260wp-poly.jpg)



v fázového napětí v ČR). Většinou umožňují montáž na zeď a pro elektrárnu o určitém instalovaném výkonu je nutné ho vhodně nadimenzovat. Zpravidla bývá o stupeň výš než výkon elektrárny (např. pro FVE 3 kWp zvolíme 3 až 3,5kW střídač). Tím, že panely časem dodávají méně, není třeba zbytečně předimenzovávat a platit za dražší zařízení.<sup>15</sup>

Ceny se odvíjí od typu a výkonu střídače. Typem se myslí, jakými funkcemi daný střídač disponuje – jestli umí pracovat i s hybridními systémy doplněnými akumulátory nebo jestli pouze zajišťuje změnu charakteru energie vyráběné v reálném čase z panelů. Některé měniče mají i pokročilý infotainment nebo dokáží komunikovat přes slaboproudé síťové rozhraní ethernet (přípojka RJ45) nebo po bezdrátovém standardu WiFi. Také jestli je jednofázový nebo třífázový. Pro 3kW měniče se jedná většinou o cenové rozpětí 15-28 tisíc Kč. Hybridní verze, která dokáže spravovat akumulaci do baterií je pak o 50 % dražší oproti srovnatelnému nehybridnímu modelu. Mezi výrobce patří např. Fronius, Infinisolar, EasySolar, popřípadě může být i integrovaný v systému akumulátoru jako Tesla PowerWall 2 nebo Sonnen Eco.



OBRÁZEK 10) STŘÍDAČ

### 5.1.3 Nosná konstrukce

Podle umístění FVE jsou k dostání různé druhy konstrukcí pro uchycení panelů. Nejjednodušší a nejlevnější řešení jsou pro klasickou sedlovou střechu, kdy jde prakticky jen o mříž profilů vyrobených většinou z hliníku nebo pozinkované oceli s úchyty. V případech, kdy je střecha hůře orientovaná, nebo když chceme panely uchytit na stěnu a další atypická místa, existují různé naklápěcí a natáčecí mechanismy. Pro FVE na loukách se používá i konstrukcí ze dřeva.

---

<sup>15</sup> Zdroj: <http://www.solarniliga.cz/wp-content/uploads/2016/02/solarni-menic.jpg>



OBRÁZEK 11) MONTÁŽNÍ SADA PRO UCHYCENÍ STŘEŠNÍ FVE<sup>16</sup>

#### 5.1.4 Akumulační nádrže pro ohřev vody

Jednou z možností jak se vyhnout přetokům vyrobené elektřiny do sítě a zvýšit využitelnost v místě výroby je akumulace energie ve formě tepla v zásobníku horké vody. Jedná se o nádrž s topnou spirálou, přes kterou cirkuluje voda například do topení. Zásobník na 250 litrů vychází okolo 40 tis. Kč. Dostatečně velký zásobník pak může být i podmínkou pro uznání dotace NZÚ.



OBRÁZEK 12) AKUMULAČNÍ NÁDRŽ NA VODU<sup>18</sup>

#### 5.1.5 Akumulátory (baterie)



OBRÁZEK 13) AKUMULÁTOR<sup>19</sup>

Pro akumulaci energie v podobě elektřiny jsou potřeba baterie. Většinou se jedná o velice drahou komponentu vzhledem ke kapacitě a životnosti. Použít se dá celá řada druhů baterií. v podstatě se nejjednodušším a nejlevnějším řešením stávají baterie obdobné autobateriím, tedy s kapalným kyselinovým roztokem (elektrolytem) a olovenými elektrodami. Tyto akumulátory mají díky tomu, že při použití v domácnostech v kombinaci s FVE dochází k častému cyklu plného vybití a nabití, velice krátkou životnost. Také nejsou uznatelné pro přiznání podpory NZÚ, ta vyžaduje moderní a spolehlivější baterie na bázi tuhých lithiových článků. Cena moderní baterie o kapacitě 4 kWh většinou převyšuje 100 000 Kč.

<sup>16</sup>Zdroj: [www.sunwave.cz/userfiles/image/Konstrukce\\_boborvka\\_sada\\_fotovotlaika\\_upevneni.PNG](http://www.sunwave.cz/userfiles/image/Konstrukce_boborvka_sada_fotovotlaika_upevneni.PNG)

<sup>17</sup>Zdroj: [http://www.dzd.cz/images/phocagallery/akumulacni-nadrze/thumbs/phoca\\_thumb\\_1\\_NADO300-60v2-rez.jpg](http://www.dzd.cz/images/phocagallery/akumulacni-nadrze/thumbs/phoca_thumb_1_NADO300-60v2-rez.jpg)

<sup>18</sup> Zdroj: <http://jimiholt.com/solar-power/>





## 5.2 Dimenzování FVE

Velikost instalovaného výkonu jsem určil na základě historie spotřeby elektrické energie, jak již bylo uvedeno dříve v této práci v rozboru zajištění dodávek elektřiny. Jako výchozí údaje jsou použity:

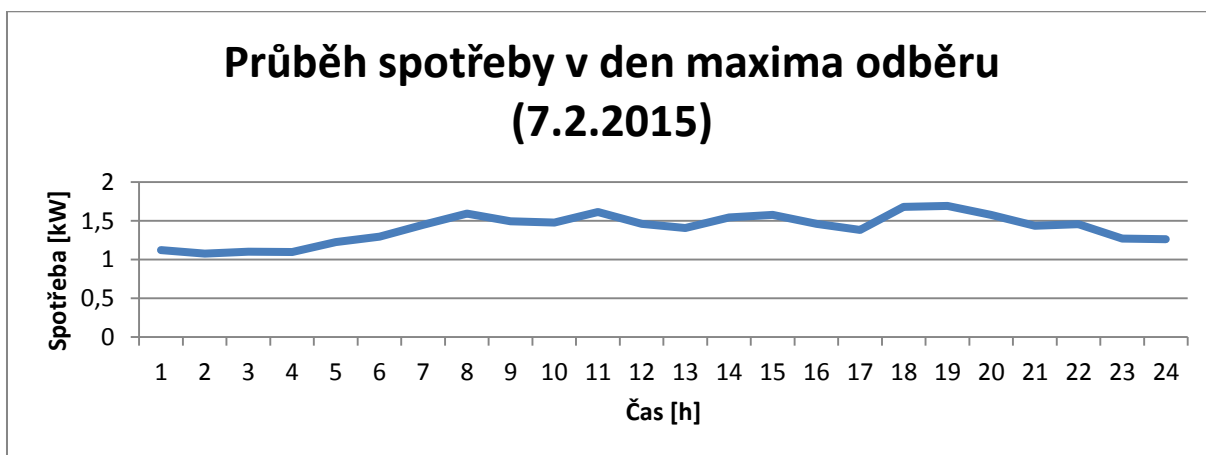
- Roční spotřeba 5 910 kWh (nepředpokládá se růst ani pokles v nejbližších letech)
- Tarif D 56d (22 h NT, 2 h VT)
- Pro obec Zlatá (ležící na souřadnicích 50°2'24" N, 14°42'36" E, 312 m nad mořem) vyplývá dle již dříve zmíněné databáze PVGIS, že globální úhrn záření činí 1250 kWh/m<sup>2</sup>

Jelikož FVE má specifický profil průběhu výroby, který je charakteristicky jiný než je průběh spotřeby rodinného domu, je tedy poměrně obtížné přesně určit, kolik energie se ve skutečnosti bude dát v budoucnosti využít. K zpřesnění odhadu jsem použil metodu přepočtu spotřeby na proměnný průběh pomocí typových diagramů dodávky<sup>19</sup> (dále jen TDD) pro danou tarifní sazbu. Pro zpřesnění jsem ještě při dimenzování konzultoval odlišnosti reálného využívání domu od statistického modelu s investorem.

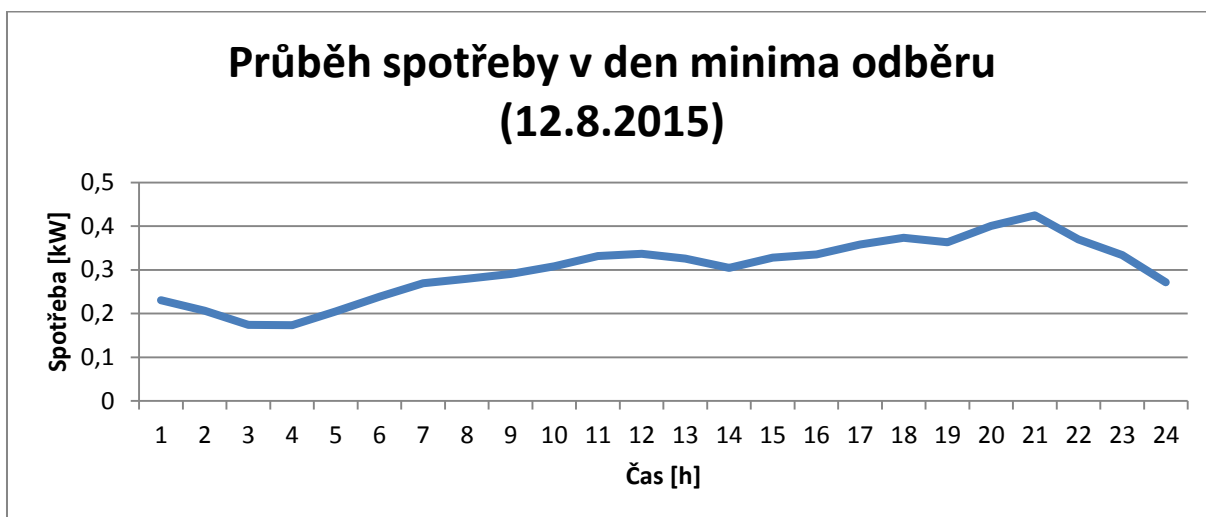
Na následujících grafech jsou znázorněny přepočtené průběhy spotřeby dle TDD pro dny, ve kterých byl nejvyšší a nejnižší denní odběr elektřiny v roce 2015. Den maxima byl 7.2.2015 (sobota) a den minima 12.8.2015 (středa). Tato skupina TDD má dle zjištěných údajů celkově vyrovnaný odběr bez výrazných špiček odběru. Hlavně v zimních dnech, kdy je v provozu tepelné čerpadlo. Je to však statisticky určený průběh. Dle zadavatele tohoto projektu bývá navíc ve všední dny mezi 7 h a 8 h ráno zvýšený odběr. Konkrétně jsou v tu dobu využívány spotřebiče s vyššími příkony. Hlavně kuchyňské spotřebiče na přípravu jídla.

---

<sup>19</sup> Typové diagramy dodávky elektřiny jsou tvořeny na základě statistického vyhodnocení panelu odběratelů s průběhovým měřením. Určení „průměrného“ příkonu odběratele pro každou hodinu v roce pro danou tarifní sazbu. Celkem se odlišuje 8 kategorií TDD. Tarif D 56d spadá pod TDD-7. Hodnoty pro přepočet jsou dostupné na stránkách operátora trhu s elektřinou – [www.ote.cz](http://www.ote.cz).



GRAF 2) SPOTŘEBA RD V DEN MAXIMA ODBĚRU DLE TDD



GRAF 3) SPOTŘEBA RD V DEN MINIMA ODBĚRU DLE TDD

Vhodné zvolení velikosti elektrárny je asi nejtěžší a zcela klíčovou částí této práce. Je třeba zvážit mnoho faktorů, které ovlivňují efektivnost vynaložené investice. Mimo počasí je klíčová cena elektřiny a podmínky prodeje přebytků do sítě. v dnešní době platí, že se výroba za účelem prodeje díky nízkým a nijak nedotovaným výkupním cenám nevyplatí. Otázkou je, jestli tomu tak bude i v budoucnu. Zde budu vycházet čistě ze současných podmínek.

Pro zvolení velikosti výkonu elektrárny budu uvažovat tyto údaje vyplývající z dříve uvedených předpokladů:

- Průběh spotřeby dle TDD – den maxima
- Kombinované ztráty v měniči a ostatních technologických prvcích FVS 17 %
- Lineární úbytek výkonu panelů 0,9 % ročně po dobu 25 let



- Pokrytí spotřeby za 25 let
- Cílem je pokrýt spotřebu RD s minimem přebytků

Z toho nám vyjde, že potřebný výkon je alespoň 2,54 kWp.

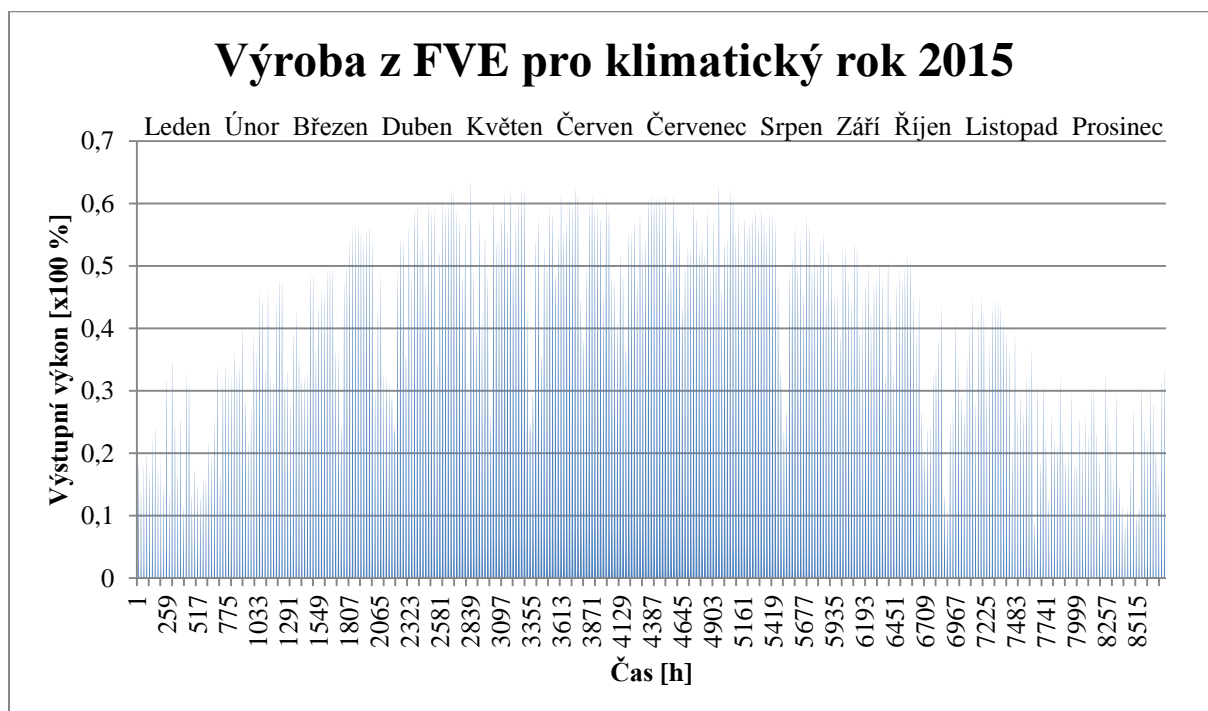
Standardně firmy nabízejí typizované elektrárny o výkonech např. 3 kWp, 5 kWp, 7 kWp atd., s různými možnostmi akumulace. Dle spotřeby objektu se jeví jako nejvýhodnější dimenzovat tak, aby se vše dalo využít přímo, jak již bylo řečeno. To znamená investovat spíše do menšího zdroje. Také jsem oslovil dodavatele k vytvoření nabídky systému. V odpovědi od projektanta byla doporučena varianta 3,12kW elektrárny. Jako výchozí instalovaný výkon jsem tedy zvolil 3,12 kWp (12 x 260 kWp). Byť je mírně vyšší než je ve skutečnosti potřeba (o 2 FV panely). Je to hlavně z důvodu výkonové rezervy pro nepředpokládaný růst spotřeby elektřiny. Jako může být například delší zima, pořízení klimatizace atp. Elektrárna bude formou dodávky „na klíč“, takže dodavatelská firma zajistí vše potřebné včetně montáže a potřebných povolení. v další části uvedu srovnání nabídek různých dodavatelů. Konečné ceny budou uvedeny včetně DPH. Nabídky dodavatelů jsem zjišťoval buď přímou komunikací s dodavatelem nebo na webových stránkách firem, které se FVE na klíč zabývají. Jelikož je možné elektrárnu, resp. počet panelů upravovat s jemnějším krokem než 2 kWp (+/- 1 panel, který má výkon většinou 240 až 260 Wp) budu v části citlivostní analýzy zkoumat i míru ovlivnění v závislosti na počet instalovaných panelů.

Dále si také ověřím, zdali není takto doporučený systém předimenzovaný. Dle TDD a dat od ČEPS a.s., která se využívají pro plánování v rámci ENTSO-e<sup>20</sup>, namodeluji hodinové průběhy (8760 hodnot pro rok 2015). Jejich odečtením pak z modelu zjistíme, kolik elektřiny se v danou hodinu generuje v elektrárně, kolik ji spotřebováváme místně a kolik přeteče do sítě.

Na následujícím diagramu je znázorněn průběh výstupního výkonu z FVE umístěné na území ČR. Je vyjádřen v procentech z instalovaného výkonu.

---

<sup>20</sup> ENTSO-e (European Network of Transmission System Operators for Electricity) = Evropská síť provozovatelů přenosových soustav elektřiny; jedním ze členů je ČEPS a.s.



GRAF 4) PRŮBĚH VÝROBY FVE

Hned zprvu je patrné, že dle instalovaného výkonu pro určení skutečného výstupního výkonu musíme hodně ubrat. Při nejlepším se v našich klimatických podmínkách výroba pohybuje lehce nad 60 % instalovaného výkonu. V zimních měsících, kdy je naopak spotřeba nejvyšší, pak dokonce pouze v limitovaném pásmu 10 až 30 %.

### 5.2.1 Souhrn

Nyní si uvedeme souhrn veškerých dosavadních poznatků o výstavbě FVE na zvoleném rodinném domě.

#### Obecné

Zvolený výchozí instalovaný výkon panelů 3,12 kWp

Rok výstavby 2017, uvedení do provozu 1.1.2018

#### Kladné

- + Oproti minulosti levnější komponenty
- + Oproti minulosti zjednodušení legislativních podmínek pro výstavbu malé FVE

#### Záporné

- Neregulovatelnost výkonu (závislost na počasí)
- Nízká výkupní cena za přebytky
- Vysoká investice



- |   |  |
|---|--|
| + Nízké provozní náklady                                      | - Nezkolaudovaná stavba (nemožnost čerpání dotace) |
| + Částečná nezávislost na dodávce elektřiny                   | - Relativně nízká spotřeba elektřiny v objektu     |
| + Téměř ideální pozice střechy zvoleného RD                   |  |
| + Příprava pro ohřev vody elektřinou                          |  |
| + Sleva na silovou elektřinu, nemusí se řešit prodej přebytků |  |

### 5.3 Možné varianty FVS

V této části popíši varianty systémů vhodných pro náš projekt střešní elektrárny. Vycházet se bude tedy ze systému panelů o kombinovaném výkonu 3,12 kWp. Různost variant spočívá v doplnění o akumulční zařízení. Tím bude buď nádrž na ohřev vody, nebo akumulátory.

Možné nabídky jsem získal kontaktováním dodavatelů a vyhledáním v online nabídkách. Jako etalon poslouží ČEZ Prodej, s.r.o.. Pro výběr této společnosti jsem se rozhodl ze dvou základních důvodů. Prvním je, že nabízí systémy tvořené komponentami od známějších a kvalitnějších značek. Většinou jsou to němečtí nebo japonští výrobci s dlouhou dobou záruční lhůty. Druhým důvodem je pak jednotnost dodavatele FV systému, dodavatele elektřiny a místního distributora elektřiny. To přináší značné zjednodušení byrokracie a zaručí bezproblémové připojení na síť dle platných požadavků distributora. Nabídky ostatních dodavatelů FV komponent budou součástí zkoumání v citlivostních analýzách. A to včetně uvedení, jakými parametry se ten daný systém liší od výchozího.

Při následných ekonomických analýzách musím z principu opatrnosti předpokládat jeden fakt. Při čerpání dotací budu ve výchozím stavu uvažovat jejich nevyužití. To je z důvodu dosud nezkolaudované stavby. Nedá se ani potvrdit zkolaudování v dohledné době. Možnost s čerpáním dotací bude součástí citlivostních analýz.

Dodavatel tvrdí, že celý proces od podání objednávky, přes vyřízení úřadů, uzavření smlouvy o dílo až po samotnou instalaci by měl trvat maximálně lehce přes měsíc.



Při popisu variant uvedu hlavní součásti, které systém obsahuje. Ostatní prvky jako potřebnou kabeláž, ochranné prvky a montáž jsou samozřejmě implicitně obsažené v každé variantě.

### 5.3.1 Varianta 0 - stávající systém

Tato nulová varianta představuje zachování současného způsobu dodávky elektřiny. Tedy veškerý odběr je realizován z veřejné sítě bez vlastní výroby.

### 5.3.2 Varianta 1 – bez akumulace

#### Součásti systému

<b>FV panely</b>	Účinnost 16 %
12 x 260 Wp IBC Polysol 260 VL4	Nadstandardní záruka 15 let
	Záruka úbytku výkonu po 25 let
<b>Měnič</b>	Záruka 5 let
Fronius Symo 3.0-3-M	Účinnost 96,5 %
<b>Upevnění na střeše</b>	Záruka 10 let
Hliníková konstrukce	Nerezové šrouby

### 5.3.3 Varianta 2 – s částečnou akumulací do vody

Zde bude systém obsahovat vše potřebné pro základní výrobu a rozvod elektřiny pro daný objekt. K akumulaci přebytků bude sloužit pouze napojení na „dotop“ vodní nádrže, jež je součástí tepelného čerpadla. Ta má objem ale pouze 186 litrů, což je pro čerpání dotace nedostatečné. Pro 3,12 kWp systém je třeba nejméně 249,6 l.

Topná spirála zvýší využitelnost vyrobené energie z FVE. Nejedná se o zvýšení energie obsažené v akumulární nádrži, ale o to, že pro akumulaci využíváme méně efektivní tepelné přeměny, než kterou poskytuje tepelné čerpadlo. Ovšem za nulové měrné marginální náklady.

#### Součásti systému

Stejně jako Varianta 1.



### 5.3.4 Varianta 3 – s akumulací do vody

Tato varianta rozšiřuje předchozí o doplnění další akumulární nádrží, která by umožnila splnění požadavku na čerpání z dotačního programu Nová zelená úsporám. Původní nádrž, která je integrovaná do tepelného čerpadla těmito podmínkám nevyhovuje, jelikož má nedostatečný objem. Na druhý pohled je ovšem z hlediska využití další nádrž nadbytečná a naakumulované teplo by nebylo využitelné. Také montáž by byla komplikovaná. V současnosti obsahuje objekt 2 okruhy teplé vody. Jeden s topnou vodou (nemrznoucí směsí) pro vytápění objektu a druhým s teplou užitkovou vodou pro mytí.

#### Součásti systému

<b>FV panely</b>	Účinnost 16 %
12 x 260 Wp IBC Polysol 260 VL4	Nadstandardní záruka 15 let
	Záruka úbytku výkonu po 25 let
<b>Měnič</b>	Záruka 5 let
Fronius Symo 3.0-3-M	Účinnost 96,5 % (Euro)
<b>Wattrouter</b>	Zlepšení místní spotřeby o 20 %
<b>Akumulační nádrž</b>	200 l
	Využití min. 70 % vyrobené energie
<b>Upevnění na střeše</b>	Záruka 10 let
Hliníková konstrukce	Nerezové šrouby

Z výše uvedených důvodů se investor rozhodl tuto variantu nerealizovat. Proto se jí nebudu dále věnovat ani při výpočtech.

### 5.3.5 Varianta 4 - s akumulací do baterií

V třetí variantě je akumulární nádrž na ohřev vody nahrazena systémem baterií. Ukládání energie ve formě elektřiny je sice praktičtější a využitelnější v našem případě, ale je výrazně dražší. Dodavatel nabízí bateriový systém od renomovaného výrobce. Udává dosažitelnou životnost 20 let. Rozměr 4kWh baterie je 640 x 220 x 1370 mm.



### Součásti systému

<b>FV panely</b>	Účinnost 16 %
12 x 260 Wp IBC Polysol 260 VL4	Nadstandardní záruka 15 let
	Záruka úbytku výkonu po 25 let
<b>Měnič</b>	Záruka 5 let
Fronius Symo 3.0-3-S	Účinnost 96,2 % (Euro)
<b>Wattrouter</b>	Součástí bateriového systému
<b>Baterie</b>	Kapacita 4 kWh
SonnenBatterie Eco	10 000 cyklů (20 let běžného používání)
	Na bázi LiFePo4
	Záruka 10 let
	Interaktivní ovládání
	Max. výstupní výkon 2 kW
<b>Upevnění na střeše</b>	Záruka 10 let
Hliníková konstrukce	Nerezové šrouby

## 5.4 Zdroje kapitálu pro investici, diskont

V současné době jsou možnosti investora buď alokovat pro projekt vlastní peněžní prostředky, nebo si na část investice vzít úvěr.

Dle složení kapitálu se bude odvíjet i výše diskontní sazby. Pokud bude celá investice zaštitěna spotřebitelským úvěrem, bude diskont ve výši úroku. Pokud investor půjde cestou investování vlastních finančních prostředků, bude diskont na úrovni bezrizikové investice, jakou může být například státní dluhopis. Při kombinaci obou zdrojů peněz určí diskont pomocí vážených nákladů na kapitál (princip WACC<sup>21</sup>).

---

<sup>21</sup> WACC = Weighted Average Cost of Capital





$$d = WACC = r_e * \frac{E}{E + D} + r_d * (1 - t) * \frac{D}{E + D} [\%]; kde:$$

$r_e$  [%]...výnos vlastního kapitálu

$E$  [Kč]...výše vlastního kapitálu

$D$  [Kč]...výše úvěru

$r_d$  [%]...úrok z úvěru

$t$  [%]...daň

V části citlivostních analýz pak budu zkoumat, jaké konkrétní složení kapitálu je pro tento projekt nejvýhodnější. Pro výchozí stav stanovím diskont jako bezrizikovou investici vlastního kapitálu.

#### 5.4.1 Ohodnocení vlastního kapitálu

Pro ohodnocení vlastního kapitálu vycházím z předpokladu, že má investor možnost vložit peníze do finančního produktu, který udává nominální zhodnocení 4,5 % p. a.. Dlouhodobý inflační cíl ČNB je 2 % ročního růsti indexu spotřebitelských cen. Reálný výnos vlastního kapitálu je tedy po odečtení vlivu inflace prakticky 2,5 %.

#### 5.4.2 Ohodnocení cizího kapitálu

Pro následné citlivostní analýzy, kde bude kapitál zahrnovat i bankovní úvěr, je třeba znát úrok z půjčky na stavbu FVE.

Dle online porovnávacího bankovního portálu [www.usetreno.cz](http://www.usetreno.cz) jsem zadal parametry půjčky a získal nabídky možných úvěrů. Řada bank na půjčku do 500 000 Kč nabízí úrokovou sazbu v rozmezí 4,99 % až 7,9 %. Nejvýhodněji se jeví půjčka přes Zonky.cz. Pro 5 letý úvěr s měsíční anuitní splátkou (celkem 60 splátek) má úrokovou sazbu 4,99 %. Poplatek za zpracování půjčky je 2 % z půjčené částky.



### Modelový příklad úvěru přes Zonky.cz

Výše úvěru	200 000 Kč
Poplatek za zpracování	4 000 Kč
Počet měsíčních splátek	60
Úroková sazba	4,99 % p.a.
Výše splátky	3 773 Kč/měsíc

#### 5.5 Doba porovnání

Dobu porovnání, čili ekonomickou životnost projektu jsem určil 20 let. To je doba, po kterou budu modelovat vývoj peněžních toků, na jehož základě zhodnotím investici z ekonomického hlediska. Není to však doba technické životnosti celé elektrárny. Tu je obtížné přesně určit, protože každý prvek ať už střídač, FV panel, akumulátor nebo vedení má technickou životnost jinou. I při zvolených 20 letech sledované doby pro ekonomickou analýzu je třeba počítat s reinvesticemi nebo výdaji za opravy a údržbu systému. Historicky je obecně platné, že nejmenší technickou životnost vykazují akumulátory, pak měniče. Životnost FV panelů je naproti tomu celkem vysoká a dle tvrzení výrobců se pohybuje okolo 30 let.

Doba porovnání 20 let je pro ohodnocení FVE vyhovující. Jednak z pohledu investora, kdy se vychází z předpokladu, že jestli se investice do 20 let nezhodnotí, nebude se podstupovat. Dále po tuto dobu pak výrobci garantují průběh snižování účinnosti, poté jsou předpovědi vývoje úbytku účinnosti neznámé. Také kdyby byla elektrárna většího výkonu a musela se z důvodu vyšších příjmů z prodeje přebytků daňově odepisovat, spadala by do skupiny č. 4 - Stavby elektráren (díla energetická výrobní), kde je doba odepisování právě 20 let.

#### 5.6 Cena elektřiny

Úsporu za energii, kterou díky FVE není třeba kupovat od prodejce s elektřinou, je třeba vhodně ocenit. Pro ohodnocení těchto kladných položek plynoucích z vlastní výroby elektřiny jsem využil údaje z vyúčtování za elektřinu z roku 2015.

Z fakturace za elektřinu je patrné, že většina spotřeby se odehrává v NT (přes 92 %). Ceny za NT a VT jsou navíc obdobné. Proto budu počítat s jednotnou průměrnou cenou



2,07 Kč za každou kWh, která byla vyrobena ve FVE a spotřebovaná místně. Tuto částku jsem vypočítal na základě odečtení pevných položek (nezávislých na odběru) od fakturované částky. Pro ohodnocení zbytku elektrické energie, kterou je třeba dodat z veřejné sítě NN pak 2,96 Kč/kWh. Také je již zahrnuta sleva na silovou elektřinu 20 %, která vyplývá z přechodu na akční tarif pro dodávku přebytků elektřiny od ČEZ Prodej s.r.o. Ceny jsou uvedeny včetně 21% DPH.

## 5.7 Tvorba peněžních toků – položky

### 5.7.1 Výdaje

Záporné výdajové položky zahrnují: Investice do FVS; Roční výdaje na údržbu a opravy (určeno jako 1 % z výše původní investice, zahrnuje např. i reinvestici do střídače, drobnou údržbu, revize); Splátky úvěru.

### 5.7.2 Příjmy

Mezi příjmy započítávám: Uspořená elektřina (výroba energie FVE, která se dá spotřebovat přímo v domě, oceněno na 2,07 Kč/kWh); Úspora spojená se slevou za dodanou elektřinu (0,312 Kč/kWh na základě hodnoty platné pro NT, který se využívá po většinu dne).

## 5.8 Souhrn přijatých předpokladů

Instalovaný výkon	3,12 kWp
Celkové ztráty FVS	17 %
Úbytek účinnosti panelů	0,9 %/rok
Místně využitelná vyrobená energie z FVE	Varianta 1: Dle rozdílu výroby FVE a TDD <sup>22</sup> Varianta 2: 75 % <sup>23</sup> Varianta 4: 95 % <sup>24</sup>

---

<sup>22</sup> Dále v textu referovaná jako „využitelnost (varianta 1)“, popř. „využitelnost“, hodnota získaná výpočtem.

<sup>23</sup> Dodavatel udává využitelnost minimálně 70 %. Dle modelu, o kterém bude řeč dále, vyšla využitelnost 63 % bez dodatečné akumulace. Proto lze zvolit optimističtější odhad.

<sup>24</sup> Dodavatel udává využitelnost až 100 %. Pro jistotu budu počítat s odhadem lehce nižším.



Doba porovnání	20 let
Výchozí klimatický rok pro výrobu z FVE	2015
Výchozí spotřeba RD	5,91 MWh/rok
Růst spotřeby (y-y)	0 %
Ocenění úspory	2,07 Kč/kWh
Ocenění slevy	0,312 Kč/kWh
Diskont	2,5 %
Složení kapitálu	Pouze vlastní kapitál
Růst ceny elektřiny (y-y)	0 %

## 5.9 Bilance energie dle variant

Z dostupných hodnot TDD a výrobních diagramů FVE jsem vytvořil v MS Office Excel model, jehož výstupem jsou různé informace o výrobě, spotřebě a tocích elektřiny z elektrárny. V modelu lze nastavit parametry pro libovolně velkou elektrárnu, definovat ztráty a úbytky účinnosti, růst spotřeby atp.. Dle výpočetního modelu vycházejí toky elektřiny za 20 letou dobu porovnání pro různé varianty následovně:

Varianta	Výroba FVE	Využitelnost v RD	Přetok do sítě
<b>Varianta 1</b>	50,29 MWh	31,58 MWh => 63 %	18,71 MWh
<b>Varianta 2</b>	50,29 MWh	75 % => 37,72 MWh	12,57 MWh
<b>Varianta 4</b>	50,29 MWh	95 % => 47,78 MWh	2,51 MWh

TABULKA 6) BILANCE ENERGIE Z FVE

Parametry elektrárny jsem rovněž zadal do systému PVGIS. Roční výrobu udává 3 210 kWh oproti 2740 kWh podle dat z ČEPS a.s. Rozdíl je pravděpodobně dán několika faktory. Jednak PVGIS obsahuje údaj i o přesné poloze a natočení elektrárny, ale také nejspíše pracuje s jiným klimatickým rokem, popřípadě nějakým průměrem. Neobsahuje však hodinové údaje, výstupem je pouze úhrn výroby po měsících. Proto pro výpočty přetoků používám data poskytnutá společností ČEPS a.s.



## 5.10 Ekonomické efekty variant

Pro srovnání variant je použita finanční veličina NPV (čistá současná hodnota) vyjadřující součet diskontovaných peněžních toků za sledované období, tj. s respektováním časové hodnoty peněz. Hodnoty jsou získané dle vzorce:

$$NPV = \sum_{t=1}^{Tž} CF_t - INV \text{ [Kč]}; \text{ kde:}$$

$CF_t$  [Kč]...peněžní tok pro rok  $t$

$Tž$  [rok]...doba ekonomické životnosti

$t$  [rok]... $i$ -tý rok sledovaného období

$INV$  [Kč]...výše prvotní investice

V následující tabulce jsou výsledné NPV rozdílových investic, přičemž výchozí je Varianta 0.

Varianta	Cena FVS	NPV
<b>Varianta 1</b>	157 872 Kč	- 110 319 Kč
<b>Varianta 2</b>	157 872 Kč	- 101 880 Kč
<b>Varianta 4</b>	367 459 Kč	- 330 310 Kč

TABULKA 7) NPV JEDNOTLIVÝCH VARIANT

## 5.11 Doporučená varianta

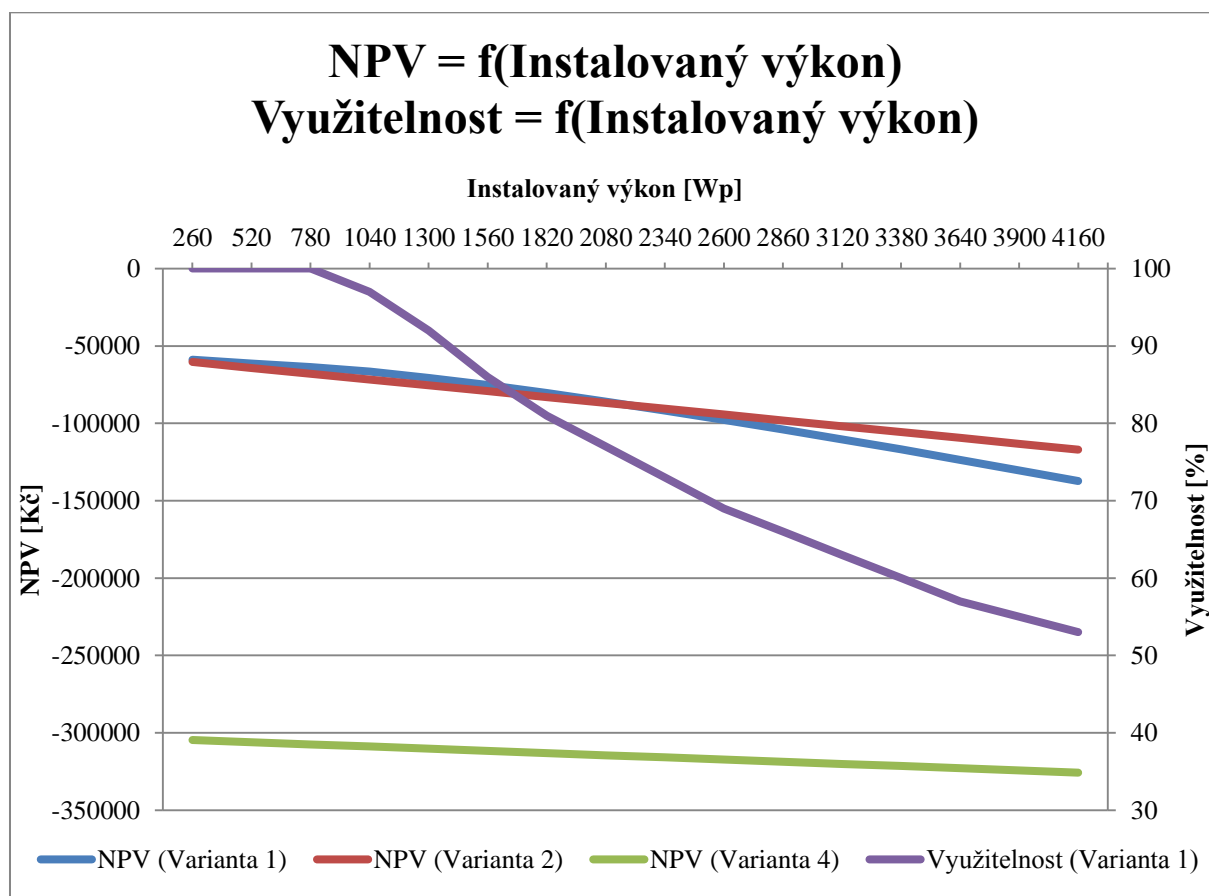
Na základě výsledků uvedených výše doporučuji volbu varianty „Varianta 0“, která spočívá v pokračování využívání dosavadního způsobu zásobování rodinného domu elektřinou. Pro investora jsou všechny ostatní varianty investice do FVE ekonomicky nevýhodné. Nejhůře je na tom elektrárna s akumulací do baterií s NPV rozdílové investice - 320 076 Kč. O poznání lépe, ale stále hluboko v červených číslech jsou blízko od sebe systémy s anebo bez používání elektrické topné spirály. S využitím spirály je rozdílové NPV -101 880 Kč a bez -110 319 Kč.



## 5.12 Citlivostní analýzy

### 5.12.1 Změna instalovaného výkonu

Výkon budu měnit s krokem 260 Wp jež představuje přidání nebo odebrání jednoho panelu, který stojí 5700 Kč včetně DPH. Změnu ceny ostatních technologických prvků, jako je střídač jsem určil na základě rozdílu cen dvou zařízení<sup>25</sup> pro stejnou modelovou řadu výrobce<sup>26</sup>. Tento rozdíl jsem pak vyjádřil v poměru k 260Wp panelu. v součtu počítám, že přidání jednoho panelu zvýší investici o 7000 Kč. Tím, že střídače nejsou škálovatelné tak jemně, vniká v tomto případě menší nepřesnost ve výpočtu. Pokud by v nějakém bodě bylo NPV kladné nebo v mezích, kde by mělo smysl zjišťovat přesné údaje, budu žádat dodavatele o novou cenovou nabídku na daný systém.



GRAF 5) CITLIVOST NA VELIKOST INSTALOVANÉHO VÝKONU

<sup>25</sup> Ceny určeny dle nákupního srovnávače Heureka.cz.

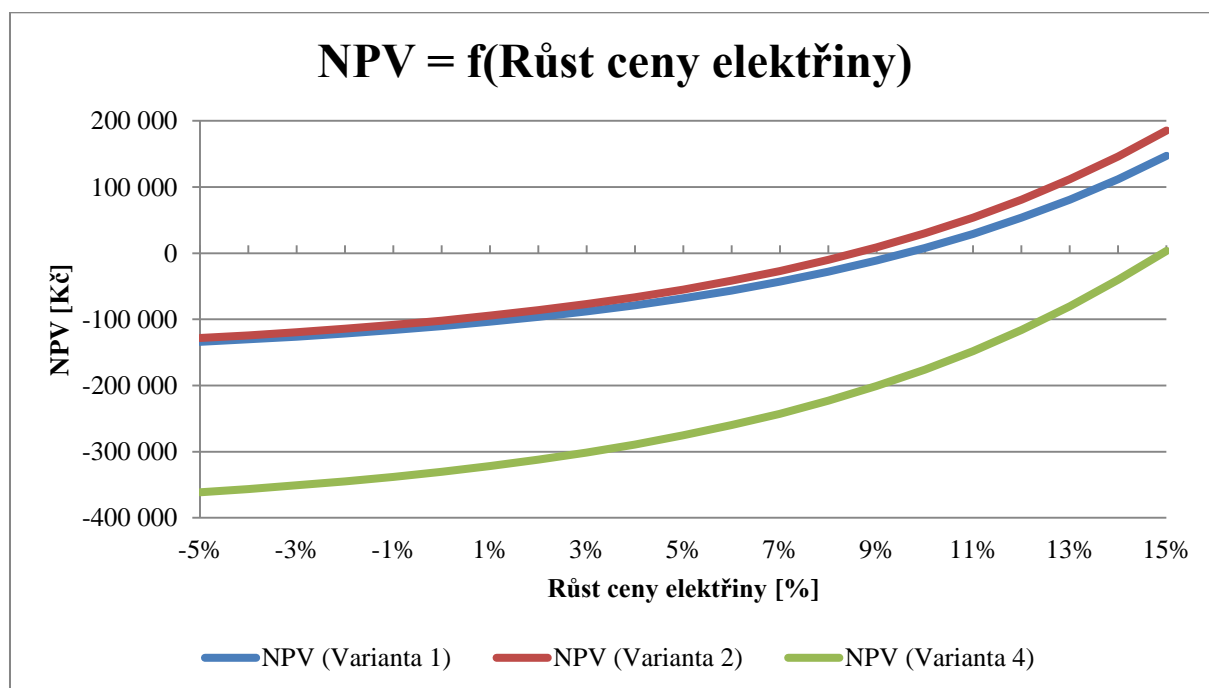
<sup>26</sup> Fronius SYMO 3 kW a 12,5 kW.



Z grafu vystupuje jasná tendence zhoršování NPV na zvyšování instalovaného výkonu. Pokud zvolíme instalaci pouze malého množství panelů, musíme počítat ale s tím, že náklady na stavební úpravy a dokumentaci budou podobné jako u většího systému. v takovém případě by bylo vhodnější pokusit se řešit nákup komponent, vyřízení povolení a instalaci svépomocí. Pro varianty 1 a 2 se s přidáním jednoho 260Wp panelu NPV zhorší v průměru o 6 % . Při všech možných konfiguracích však zůstává v záporných hodnotách. Systém s 4kW baterií se díky vysoké ceně baterie pohybuje s NPV horším než - 300 000 Kč. Dle křivky místní využitelnosti vyrobené energie pro variantu 1 se dozvídáme, že až do instalovaného výkonu 780 Wp je možné všechnu vyrobenou elektřinu spotřebovat hned v objektu bez přetoku do sítě. Poté vykazuje zhruba lineární pokles až k okolí 50 % pro 4,16kWp FVS.

### 5.12.2 Změna ceny elektřiny

Citlivost změny ceny elektřiny je určena z konstantní meziroční změny. Předpokladem je proporcionální změna variabilních složek ceny dodávané elektřiny i slevy vyplývající z nabídky ČEZ.



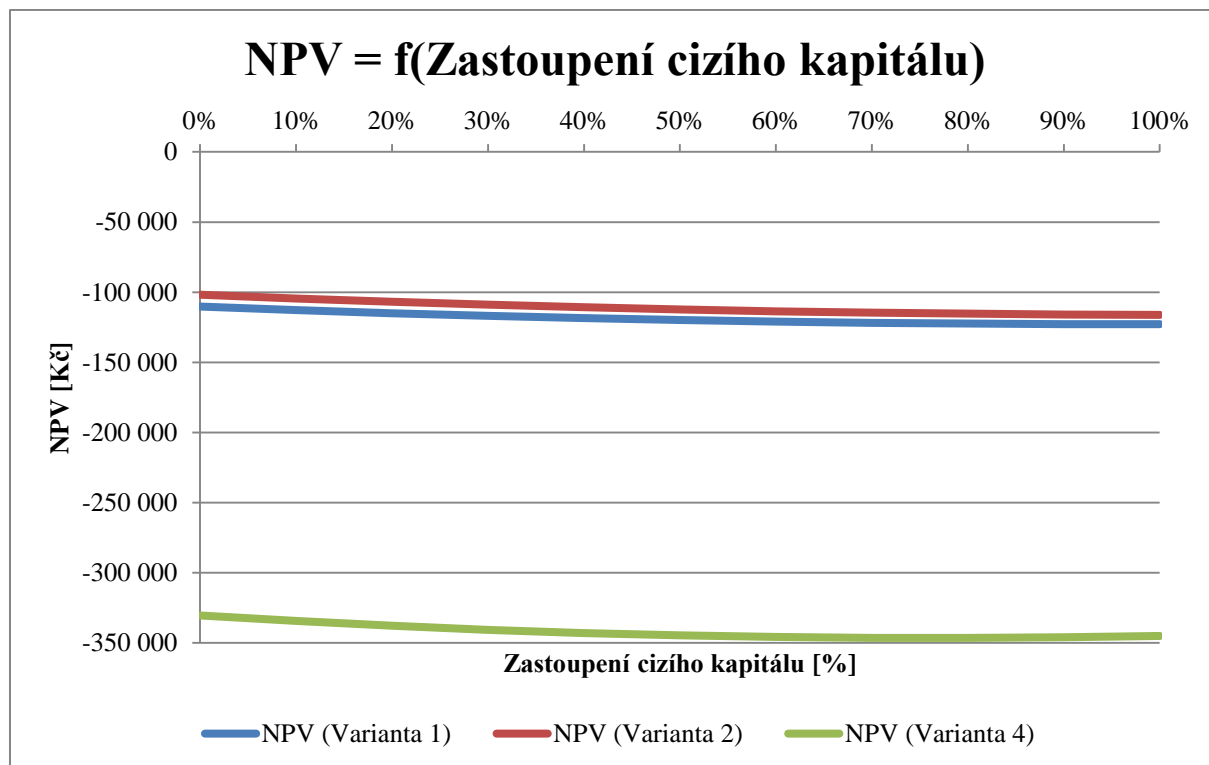
GRAF 6) CITLIVOST NA MEZIROČNÍ RŮST CENY ELEKTŘINY

Pro variantu 1 přechází NPV do kladných hodnot při meziročním růstu cca 9,5 %, pro variantu 2 cca 8,5 % a pro variantu 3 zhruba při 14,9 %. Tyto růsty jsou poměrně vysoké a s největší pravděpodobností nereálné.



### 5.12.3 Změna složení kapitálu

V této analýze zjistíme citlivost na poměr mezi vlastními peněžními prostředky a úvěrem k celkovému kapitálu.



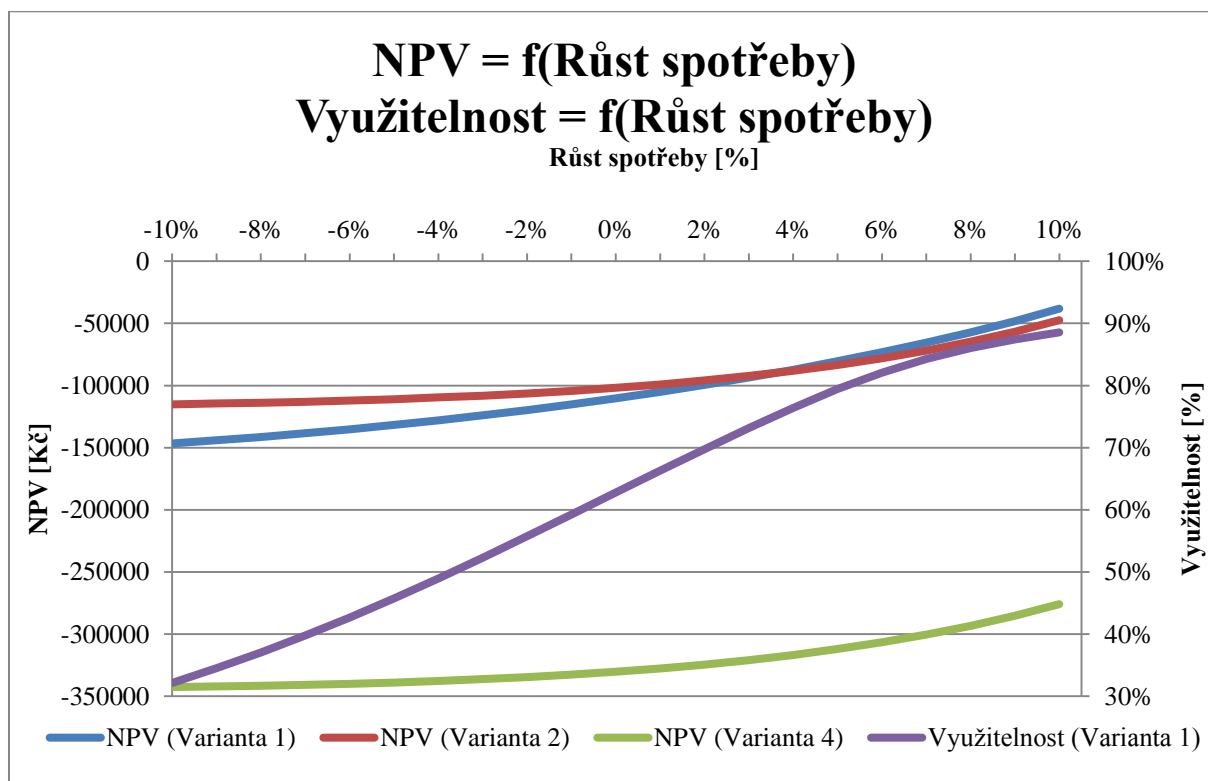
GRAF 7) CITLIVOST NA SLOŽENÍ KAPITÁLU

Tím, že je ohodnocení vlastního kapitálu nižší, než je úrok za bankovní úvěr, logicky vyplývá, že je ekonomicky výhodnější celou investici financovat vlastními penězi. NPV se tak s vyšším zastoupením dluhu zhoršuje. Největší absolutní změnu je možné zpozorovat u investičně náročnější varianty s bateriemi, kdy se NPV pohybuje v rozsahu zhruba 14 600 Kč. U systémů bez baterie pak 12 500 Kč pro celý rozsah. v průměru se s každými 10 % zastoupení cizího kapitálu zhorší NPV o 1 %.

### 5.12.4 Změna spotřeby RD

Tato část se bude zabývat závislostí NPV na změně spotřeby v rodinném domě. V první části bude zhodnocen meziroční růst nebo pokles spotřeby. Druhá část bude znázorňovat jednorázovou instalaci klimatizace.





GRAF 8) CITLIVOST NA MEZIROČNÍ RŮST SPOTŘEBY RD

Využitelnost strmě roste se zvyšováním spotřeby až k 80 % pro 6% meziroční růst spotřeby. Poté roste pomaleji a dostává se až k hranici 90 % pro 10% růst. NPV ani jedné z variant se i v případě extrémního až 10% meziročního zvyšování spotřeby nedostává přes nulu.

Pokud by se majitel rozhodl pro pořízení jednotky mobilní klimatizace do obývacího, bylo by NPV následovné:

	NPV bez klimatizace	NPV s klimatizací
<b>Varianta 1</b>	- 110 319 Kč	- 98 221 Kč
<b>Varianta 2</b>	- 101 880 Kč	- 94 948 Kč
<b>Varianta 4</b>	- 330 310 Kč	- 323 372 Kč

TABULKA 8) VLIV POŘÍZENÍ KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKY

Počítá se s příkonem 2,6 kW a průměrné využívání bylo stanoveno na 1,5 h denně. To zvýší roční spotřebu o 1420 kWh. V NPV není zahrnuta pořizovací cena klimatizace. Cenová hladina pro takovéto zařízení je dle Heureka.cz okolo 9 000 Kč.



NPV zůstává stále záporné. v případě varianty 1 je rozdíl větší, než je pořizovací cena klimatizační jednotky, lze říci, že koupě klimatizace má pozitivní efekt. U zbylých variant nacházíme zhruba neutrální efekt. Hodnoty jsou ovlivněny rozložením spotřeby do celého roku rovnoměrně dle TDD, ale klimatizace by reálně zvyšovala pouze spotřebu v letních měsících. Pro tyto měsíce je doposud charakteristické, že je nízká spotřeba RD a vysoká výroba FVE. Tím by se bilance zlepšila a přidání klimatizace by mělo pozitivní účinek na NPV u všech variant.

### 5.12.5 Změna počáteční investice

Jak již bylo zmíněno dříve, v nejpravděpodobnějším scénáři nebude mít budova dokončené kolaudační řízení. Proto v zásadě není možné čerpat dotaci NZÚ. V této části zjistíme, jak by se NPV změnilo, kdyby byl dům úspěšně zkolaudován.

Zde uvedu i dříve vynechanou variantu 3. Tato varianta by v podstatě měla smysl pouze z důvodu splnění podmínek pro čerpání dotace.

	NPV bez dotace	Výše dotace	NPV s dotací
<b>Varianta 1</b>	- 110 319 Kč	-*	-110 319 Kč
<b>Varianta 2</b>	- 101 880 Kč	-*	-101 880 Kč
<b>Varianta 3<sup>27</sup></b>	- 154 203 Kč	až 60 000 Kč	-94 203 Kč
<b>Varianta 4</b>	- 330 310 Kč	až 105 000 Kč	-208 942 Kč

TABULKA 9) VLIV DOTACE NZÚ

Je patrné, že ani dosažení plné částky dotace nepřesune NPV do kladných hodnot, avšak rozdíl mezi uznáním a neuznáním dotace je významný.

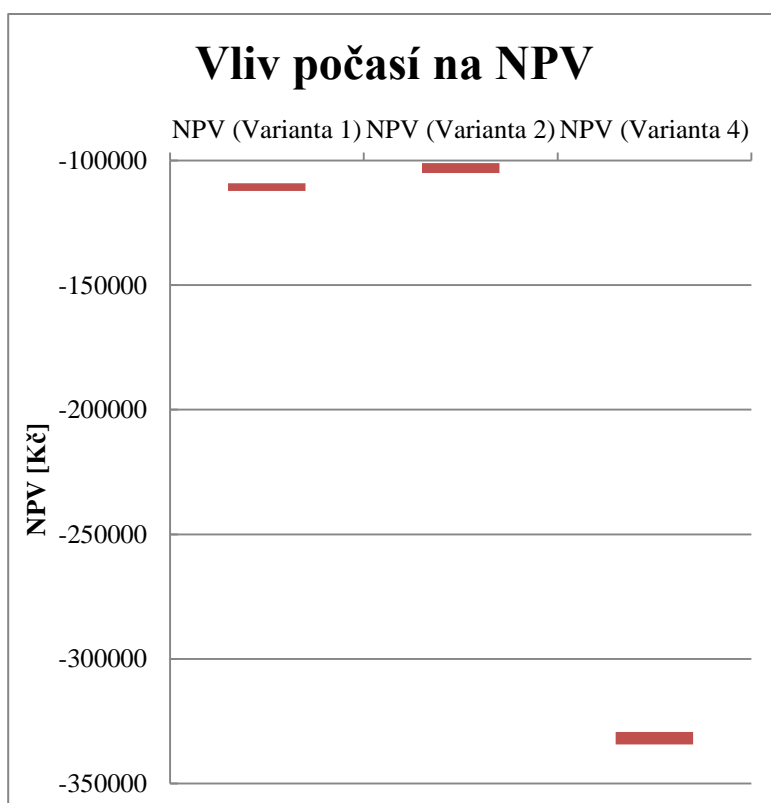
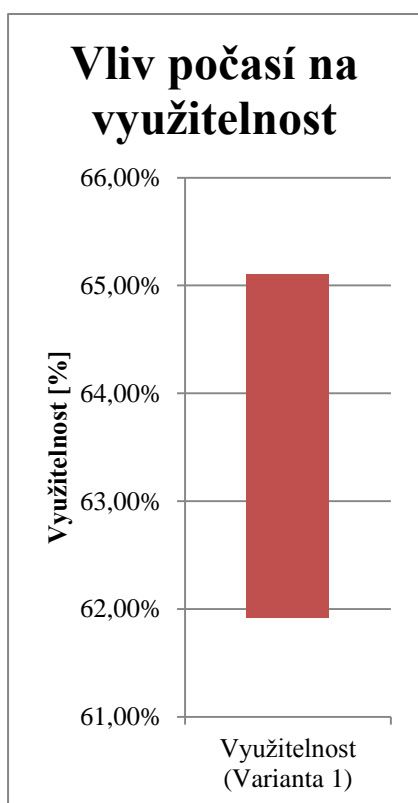
\* Bez nároku na dotaci NZÚ - nemá dostatečně dimenzované akumulární zařízení.

<sup>27</sup> Využitelnost stanovena na 80 %, cena systému dle nabídky ČEZ.



### 5.12.6 Změna počasí

V této části bude prozkoumán vliv počasí. Stejnou metodikou, jako při základním výpočtu, budu dosazovat do modelu různé časové řady výroby z FVE. Celkem použiji 34 klimatických řad odpovídající rokům 1982-2015. Výstupem analýzy pak bude rozptyl NPV a využitelnosti energie v místě výroby.



GRAF 10) VLIV POČASÍ NA VYUŽITELNOST

GRAF 9) VLIV POČASÍ NA NPV

Jak je z grafu patrné, NPV se v závislosti na klimatu příliš nemění, stejně jako je tomu i u využitelnosti. V následující tabulce jsou vypsané maximální, minimální a průměrné hodnoty pro jednotlivé varianty.

	MIN	MAX	PRŮMĚR
<b>NPV (Varianta 1)</b>	-111 235 Kč	-109 160 Kč	-110 771 Kč
<b>NPV (Varianta 2)</b>	-104 998 Kč	-101 056 Kč	-103 019 Kč
<b>NPV (Varianta 4)</b>	-334 260 Kč	-329 267 Kč	-331 753 Kč
<b>Využitelnost</b>	61,92 %	65,11 %	63,55 %

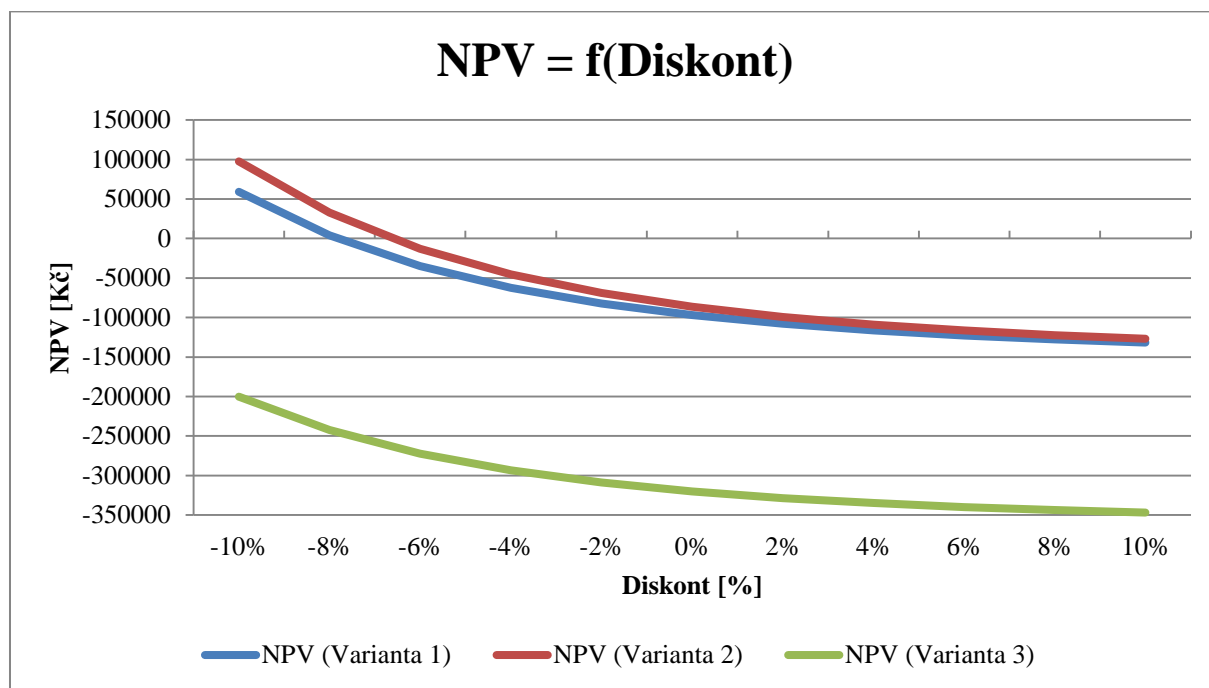
TABULKA 10) CITLIVOST NPV A VYUŽITELNOSTI NA POČASÍ



Minimální a maximální NPV se pohybuje v rozmezí do 3 100 Kč (Varianta 1), 4 000 Kč (Varianta 2) a 5 000 Kč (Varianta 4), což představuje relativní změnu pod 4 %.

### 5.12.7 Změna diskontu, nalezení IRR

Nyní se zaměřím na vliv diskontu. Změna diskontu zde obecně představuje změnu možností investora vložit peníze do jiného projektu nebo spořicího produktu.



GRAF 11) CITLIVOST NA ZMĚNU DISKONTU

Jelikož se jedná o dlouhodobý projekt na 20 let, je zde zřetelná významná závislost na výši diskontu. Pro investora s vyšším diskontem, jako je například 10 %, by bylo záporné NPV dokonce zhruba ve výši investice.

Mezní hodnota diskontu, když  $NPV = 0$  se nazývá IRR<sup>28</sup>. Pro variantu 1 je IRR - 7,8 %, pro variantu 2 pak -6,4 % a pro variantu 3 se dostaneme až k -14,8 %. Všechny IRR jsou hluboko v záporných číslech, což značí o nevýhodnosti těchto variant oproti nulové variantě.

<sup>28</sup> IRR = Internal Rate of Return - vnitřní výnosové procento, vychází ze stejného vzorce jako NPV



### 5.12.8 Souhrn

Z citlivostních analýz lze vyvodit následující závěry:

- Pokud bude instalovaný výkon do 780 Wp (= 3 FV panely), všechna získaná energie se dá spotřebovat v RD bez přetoku.
- Čím větší instalovaný výkon, tím horší NPV.
- Varianta s bateriemi vychází vždy nejhůře.
- Poskytnutí dotace NZÚ zlepšuje NPV, to ale stále zůstává záporné.
- NPV je větší než 0 pouze v případě meziročního růstu elektřiny nad [+9,5 % varianta 1, +8,5 % varianta 2, +14,9 % varianta 3], meziročního růstu spotřeby [+13 % varianta 1, +13,8 % varianta 2, +21,9 % varianta 3] nebo při diskontu menším než [-7,8 % varianta 1, -6,6 % varianta 2, -14,8 % varianta 3].
- Čím více cizího kapitálu se použije pro investici, tím horší NPV.
- Pořízení a využívání klimatizace má víceméně neutrální nebo mírně pozitivní účinek na NPV.
- Vlivem změny počasí (data za 34 let 1982-2015) se NPV ani využitelnost příliš nemění. Rozdíl maximálního a minimálního NPV je pod 4 %. Využitelnost se pohybuje od 61,92 % do 65,11 %.



## 6 Závěr

Cílem této poslední části je shrnout všechny důležité body, kterým se práce věnovala, zhodnotit dosažení cílů stanovených v úvodu a vyslovit konečné závěry na základě předchozích analýz.

Ze začátku byla zmíněna historie fotovoltaiky. Bylo pozorovatelné, že od samotného objevu k dnešním dnům prošla fotovoltaika značným vylepšením technologie. Také v budoucnosti se počítá s dalšími inovacemi a ve světovém měřítku i s masivnějším nasazením. Toto rozšíření je ovšem značně limitováno klimatem, přesněji slunečním zářením. Při detailnějším rozboru vyšlo najevo, že Česká republika není úplně nejideálnější prostředí pro instalaci fotovoltaických elektráren. Na naše území dle databáze PVGIS dopadá v rozmezí od 1100 do 1300 kWh/m<sup>2</sup> slunečního záření za rok. Jižní státy Evropy disponují až dvojnásobným úhrnem slunečního záření. Konec části se pak věnoval možnostem zapojení, které byly doplněny o názorné schematické vyobrazení.

Následovala úvodní analýza projektu zpracovaného pro reálný případ, kdy investor zvažoval investici do fotovoltaiky. Tato část zahrnovala studii proveditelnosti. Jedná se o dvoupatrový rodinný dům, ve kterém žije čtyřčlenná rodina. Zásobování elektřinou je zajištěno přípojkou k veřejné síti NN distribuční společnosti ČEZ Distribuce, s.r.o. s tím, že roční odběr činí 5,91 kWh. Vytápění a ohřev vody je řešen tepelným čerpadlem. Tato část obsahovala i tabulku s výčtem jednotlivých spotřebičů včetně odhadu jejich ročního využití a odběru. Největší podíl, zhruba 57 %, na celkové spotřebě má tepelné čerpadlo.

Dále se práce věnovala rozboru legislativních podmínek a povinností pro provozovatele střešních FVE. Novelty dřívějších zákonů přinesly, zejména v posledních dvou letech, značné zjednodušení pro investory. Například malé elektrárny do 10 kW nepotřebují pro legální provoz ani licenci, a pokud suma peněz za prodanou elektřinu nepřesáhne 30 000 Kč za rok, nepodléhá zdanění. Také z hlediska výstavby je situace jednoznačná, pokud elektrárna zásadně nezmění proporce budovy, není třeba podstupovat řízení o povolení ke stavbě. Výjimkou jsou chráněné a historické budovy. Pro případ tohoto projektu je stran legislativy jasný zjednodušený proces. Navíc stát instalace malých FVE podporuje formou jednorázové dotace Nová zelená úsporám. Detailní popis možných kategorií dotací s požadavky pro jejich uznání je v práci také uveden.



Po analýze potřeb investora, tedy snížit náklady vydávané za elektřinu, následoval rozbor možných řešení. Mimo určení vhodného instalovaného výkonu se kapitola zabývala i výčtem prvků, ze kterých se běžná střešní FVE skládá a jaké mají komponenty cenové relace. V této kapitole byly také popsány různé varianty akumulace.

Paralelně s tím byl na základě studie údajů zjištěných ve studii proveditelnosti osloven dodavatel FVE - společnost ČEZ, a.s.. Obratem přišla nabídka FV systémů dimenzovaných pro zmíněný RD, které se lišily druhem použitého akumulárního zařízení. Výkon panelů byl ve všech variantách 3,12 kWp. První systém byl bez akumulace, druhý s akumulací přebytků do horké vody a třetí s akumulací do baterií. Výčet variant od dodavatele zahrnuje i podrobný popis součástí systémů včetně pořizovacích cen.

Souběžně s tím jsem vytvořil v MS Excel výpočetní model, který na základě průběhu spotřeby RD a výrobního diagramu FVE určuje výrobu, místně využitelnou energii a přetok energie do sítě. To vše s predikcí vývoje pro roky 2018-2037. v základním režimu probíhá výpočet na základě výroby FVE pro klimatický rok 2015. Model umožňuje i zpracování ekonomické analýzy. V práci jsou uvedeny přijaté předpoklady, odhady nejpravděpodobnějších vývoje a nadefinovány hodnoty vstupů, ze kterých model vychází. Model umožňuje měnit následující vstupy:

- **Parametry elektrárny:**
  - Instalovaný výkon elektrárny
  - Ztráty FVS
  - Roční úbytek účinnosti FV panelů
- **Charakteristika odběru:**
  - Roční spotřeba
  - Meziroční růst spotřeby
- **Ekonomické veličiny:**
  - Složení kapitálu
  - Ohodnocení kapitálu
  - Výše investice
  - Sleva na silovou elektřinu
  - Meziroční růst ceny elektřiny
  - Poměrné náklady na provoz FVE

Z modelu vychází tyto hlavní výstupy:

- **Bilance toků elektřiny**
  - Celková spotřeba elektřiny RD



- Celková výroba FVE
- Elektřina z FVE, kterou lze spotřebovat přímo v RD
- Elektřina z FVE, která je nadvýrobou - přebytek buď do sítě, nebo k akumulaci
- Reálný výstupní netto výkon FVE po odečtení ztrát
- **Ekonomické veličiny:**
  - NPV
  - IRR

Získanou nabídku od ČEZ včetně cen jednotlivých systémů jsem pomocí modelu analyzoval. Ke srovnání ekonomické efektivity jsem využíval ukazatele NPV. U všech systémů vyšlo NPV záporné, tudíž se investice do navržených není výhodná a investor by měl zvolit nulovou variantu - ponechání současného způsobu zásobování domu elektřinou.

NPV systému bez akumulace je **-110 319 Kč**

NPV systému s částečnou akumulací do vody je **-101 880 Kč**

NPV systému s akumulací do baterií je **-330 310 Kč**

Po určení NPV jednotlivých variant jsem provedl řadu citlivostních analýz. Hlavním úkolem bylo zjistit, jestli se při některém z reálně možných vývoje vstupních hodnot dokáže NPV dostat do kladných čísel. Citlivostní analýzy byly zaměřeny na tyto parametry:

- Velikost instalovaného výkonu FVE
- Cena elektřiny
- Složení kapitálu
- Spotřeba RD
- Výše investice - uznání dotace
- Počasí - průběhy výroby FVE na základě různých klimatických roků
- Diskont

Jediné situace, kdy NPV vycházelo kladné, byly značně nereálné. Jednalo se především o vysoké meziroční růsty cen elektřiny nebo záporné diskontní sazby.

Závěrem lze konstatovat, že i přes to, že fotovoltaika prošla významným vývojem, propagací, značným zlevněním technologie a legislativně se výstavbě nijak nebrání, tak v našich klimatických podmínkách není za současné situace na trhu s elektřinou ve většině případů možné realizovat na malé střešní FVE zisk. A to ani při započtení dotace programu Nová zelená úsporám. Největším problémem zůstává zejména finanční náročnost akumulčních technologií a nízká výkupní cena za elektřinu vyrobenou v malé FVE.





## 7 Citovaná literatura

- [1] *Fotovoltaika* [online]. 2016, [cit. 2016-10-11]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaika>
- [2] *Stručná historie fotovoltaiky* [online]. 1.9.2014, [cit. 2016-11-03]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11652-strucna-historie-fotovoltaiky>
- [3] *Technologický vývoj fotovoltaických panelů* [online]. 2016, [cit. 2016-11-03]. Dostupné z: <http://www.iqenergy.cz/produkty-a-reseni/fotovoltaika/technologicky-vyvoj/#.WHIRdlU18uU>
- [4] *Fotovoltaika* [online]. 2009, [cit. 2016-12-15]. Dostupné z: [http://www.pilasolare.cz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=101&Itemid=29](http://www.pilasolare.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=101&Itemid=29)
- [5] *Instalovaný výkon zdrojů registrovaných v systému OTE, a.s.* [online]. 31.12.2016, [cit. 2017-01-30]. Dostupné z: <http://www.ote-cr.cz/statistika/statistika-poze/registrace>
- [6] *Jaké fotovoltaické panely použít* [online]. 2015, [cit. 2017-02-07]. Dostupné z: <https://www.deramax.cz/5-jake-fotovoltaicke-panely-pouzit-5-dil-ze-serialu-clanku>
- [7] ČEZ Distribuce, a. s., *PŘIPOJOVACÍ PODMÍNKY PRO VÝROBNY ELEKTRINY pro připojení na síť ČEZ Distribuce, a. s.*, 1. 7. 2012
- [8] *Stavební povolení na montáž FVE* [online]. 31.10.2015, [cit. 2016-12-20]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/je-potreba-stavebni-povoleni-nebo-ohlaska-na-instalaci-fotovoltaickych-panelu/>
- [9] *Udělení licence* [online]. 2017, [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/udeleni-licence>
- [10] *Střešní fotovoltaické elektrárny jsou osvobozeny od daní* [online]. 7.3.2016, [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/osvobozeni-od-dane-z-prijmu-pro-fotovoltaicke-elektrarny-na-rodinnych-domech/>
- [11] Energetický regulační úřad, *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č.5/2016 ze dne 26. září 2016, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie.*, 26.9.2016



[12] o *programu Nová zelená úsporám* [online]. 2017, [cit. 2017-03-28]. Dostupné z:  
<http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/rodinne-domy/3-vyzva-rodinne-domy/o-programu-3-vyzva/>

[13] *Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory z podprogramu Nová zelená úsporám* [online]. 9.1.2017, [cit. 2017-03-28]. Dostupné z:  
[http://www.novazelenausporam.cz/file/782/zavazne-pokyny-pro-zadatele-rd-3-vyzva\\_11-2016.pdf](http://www.novazelenausporam.cz/file/782/zavazne-pokyny-pro-zadatele-rd-3-vyzva_11-2016.pdf)



## 8 Seznam prvků - Tabulky

Tabulka 1) Vybavenost RD spotřebiči .....	35
Tabulka 2) Výkupní ceny a zelené bonusy pro výrobu z FVE.....	40
Tabulka 3) Podpora NZÚ pro podoblast C.3.....	43
Tabulka 4) Požadavky pro podoblast podpory C.3.3 .....	44
Tabulka 5) Požadavky pro podoblast podpory C.3.4, C.3.5 a C.3.6 .....	44
Tabulka 6) Bilance energie z FVE .....	60
Tabulka 7) NPV jednotlivých variant.....	61
Tabulka 8) Vliv pořízení klimatizační jednotky.....	65
Tabulka 9) Vliv dotace NZÚ .....	66
Tabulka 10) Citlivost NPV a využitelnosti na počasí .....	67

## 9 Seznam prvků - Obrázky

Obrázek 1) Experimentální zařízení prof. Millikana.....	22
Obrázek 2) Úhrn slunečního záření ČR.....	26
Obrázek 3) Schéma zapojení systému s přímým napájením .....	28
Obrázek 4) Schéma zapojení systému s akumulací 12/24 V .....	28
Obrázek 5) Schéma systému s akumulací 12/230 V .....	29
Obrázek 6) Schéma zapojení hybridních systémů.....	29
Obrázek 7) Schéma zapojení pro připojení do DS .....	30
Obrázek 8) Střecha RD pro umístění FVE .....	33
Obrázek 9) FV panel .....	46
Obrázek 10) Střídač .....	47
Obrázek 11) Montážní sada pro uchycení střešní FVE .....	48
Obrázek 12) Akumulační nádrž na vodu .....	48
Obrázek 13) Akumulátor .....	48

## 10 Seznam prvků - Grafy

GRAF 1) Vývoj ceny křemíkových fv článků .....	23
GRAF 2) Spotřeba RD v den maxima odběru dle TDD .....	50
GRAF 3) Spotřeba RD v den minima odběru dle TDD .....	50
GRAF 4) Průběh výroby FVE.....	52



GRAF 5) Citlivost na velikost instalovaného výkonu.....	62
GRAF 6) Citlivost na meziroční růst ceny elektřiny.....	63
GRAF 7) Citlivost na složení kapitálu .....	64
GRAF 8) Citlivost na meziroční růst spotřeby RD .....	65
GRAF 9) Vliv počasí na využitelnost .....	67
GRAF 10) Vliv počasí na NPV .....	67
GRAF 11) Citlivost na změnu diskontu .....	68

## **11 Seznam prvků - Přílohy**

Kalina_DIP-FVE.pdf	- Diplomová práce v elektronické podobě
FVE_model.xlsx	- Výpočetní model pro technickoekonomickou analýzu projektu FVE
Střešní FVE pro Váš dům (170625).pdf	- Nabídka FV systému od společnosti ČEZ a.s.