



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Výstavba a provoz malé FVE

Construction and operation of small PV

Bakalářská práce

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

Studijní obor: **Elektrotechnika a management**

Vedoucí práce: **Ing. Tomáš Králík**

Jméno studenta: **Lukáš Janota**

Praha 2017

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Janota** Jméno: **Lukáš** Osobní číslo: **434911**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Elektrotechnika a management**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Výstavba a provoz malé FVE

Název bakalářské práce anglicky:

Construction and operation of small PV

Pokyny pro vypracování:

- 1) Analyzovat a popsat vybraný objekt (rodinný dům) z pohledu zásobování a vlastní spotřeby elektrické energie
- 2) Identifikovat a popsat klíčové parametry systémů pro výrobu elektřiny na bázi FVE
- 3) Analyzovat současný legislativní stav výstavby a provozu malých FVE
- 4) Variantně navrhnout FVE systém pro vybraný objekt
- 5) Vybrat optimální variantu zásobování vybraného objektu z technicko-ekonomického pohledu

Seznam doporučené literatury:

- 1) MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- 2) BOXWELL, Michael. Solar electricity handbook: a simple practical guide to solar energy : how to design and install photovoltaic solar electric systems. 2015 edition, Ninth edition. ISBN 9781907670459.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Tomáš Králík Ph.D., katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL

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

Datum zadání bakalářské práce: **07.02.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: _____

Platnost zadání bakalářské práce: **27.05.2018**

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou 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:

.....

Janota Lukáš

Poděkování:

Rád bych zde poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Tomáši Králíkovi za jeho cenné a praktické rady, poznatky a čas, který mi věnoval při řešení a zpracování dané problematiky.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá návrhem optimálního fotovoltaického systému pro rodinný dům a posouzením zda je za nynějších podmínek výstavba a provoz malé fotovoltaické elektrárny v České republice ekonomicky rentabilní. Byly navrženy a vhodně dimenzovány dva rozdílné fotovoltaické systémy a to fotovoltaický systém pro přímý ohřev vody a fotovoltaický systém pro přímou spotřebu s přebytky pro ohřev teplé užitkové vody. Práce obsahuje teoretické seznámení s fyzikální podstatou fotoelektrického jevu, hlavními komponenty fotovoltaické elektrárny a jejich důležitých parametrů. Pro potřebu posouzení ekonomické efektivity investice byla provedena analýza spotřeby hlavních energetických komodit uvažovaného objektu. U důležitých parametrů ovlivňujících výslednou ekonomickou efektivitu byla provedena citlivostní analýza.

Klíčová slova: fotovoltaická elektrárna, fotoelektrický jev, fotovoltaický ohřev teplé užitkové vody, spotřeba elektřiny, spotřeba plynu, ekonomická efektivnost investice

Abstract

The bachelor thesis deals with the design of an optimal photovoltaic system for a family house and the assessment of whether the construction and operation of a small photovoltaic power plant in the Czech Republic is economically profitable under the present conditions. Two different photovoltaic systems have been designed and appropriately dimensioned, namely a photovoltaic system for direct water heating and a direct-consumption photovoltaic system with surpluses for heating domestic hot water. The thesis contains a theoretical introduction to the physical nature of the photoelectric phenomenon, the main components of the photovoltaic power plant and their important parameters. For the purpose of assessing the economic efficiency of the investment, an analysis of the consumption of the main energy commodities of the object under consideration was carried out. Important sensitivity analysis was performed on important parameters influencing the resulting economic efficiency.

Key words: Photovoltaic power plant, photoelectric phenomenon, photovoltaic heating of domestic hot water, electricity consumption, gas consumption, economic efficiency of investment

Obsah:

1.	Úvod	1
2.	Fotovoltaický článek, princip a technické parametry.....	4
2.1.	Fotoelektrický jev	4
2.2.	Princip fotovoltaického článku.....	6
2.3.	Parametry fotovoltaických článků	7
2.3.1.	Vliv teploty FV článku na jeho parametry.....	9
2.4.	Vývojové generace FV článků.....	10
2.4.1.	FV články první generace.....	10
2.4.2.	FV články druhé generace.....	10
2.4.3.	FV články třetí generace	11
3.	Technické řešení FVE elektrárny a její komponenty.....	11
3.1.	Fotovoltaické panely	11
3.1.1.	FV panely z monokrystalického křemíku	12
3.1.2.	FV panely z polykrystalického křemíku.....	13
3.1.3.	FV panely z amorfního křemíku.....	13
3.1.4.	Porovnání parametrů běžně využívaných FVE panelů	13
3.2.	Střídače (Invertory).....	14
3.2.1.	Grid-off systémy.....	15
3.2.2.	Grid-on systémy	15
3.2.3.	Hybridní systémy	16
3.3.	Nosné a konstrukční prvky, kabeláž.....	17
4.	Popis rodinného domu	18
4.1.	Vlastní spotřeba elektrické energie	18
4.1.1.	Denní diagram spotřeby elektrické energie v RD	20
4.2.	Spotřeba zemního plynu v RD	22
4.2.1.	Současný způsob vytápění a ohřevu TUV v RD.....	24
4.2.2.	Průměrná spotřeba TUV v RD.....	25
4.2.3.	Denní potřeba tepla pro ohřev TUV.....	25
5.	Dimenzování FVE	26
6.	Legislativa.....	27
6.1.	Současný legislativní stav v ČR v oblasti malých FVE	27
6.2.	Podpora fotovoltaiky v České republice	28
6.2.1.	Nová zelená úsporám	28
7.	Variantní návrh FV systémů	29

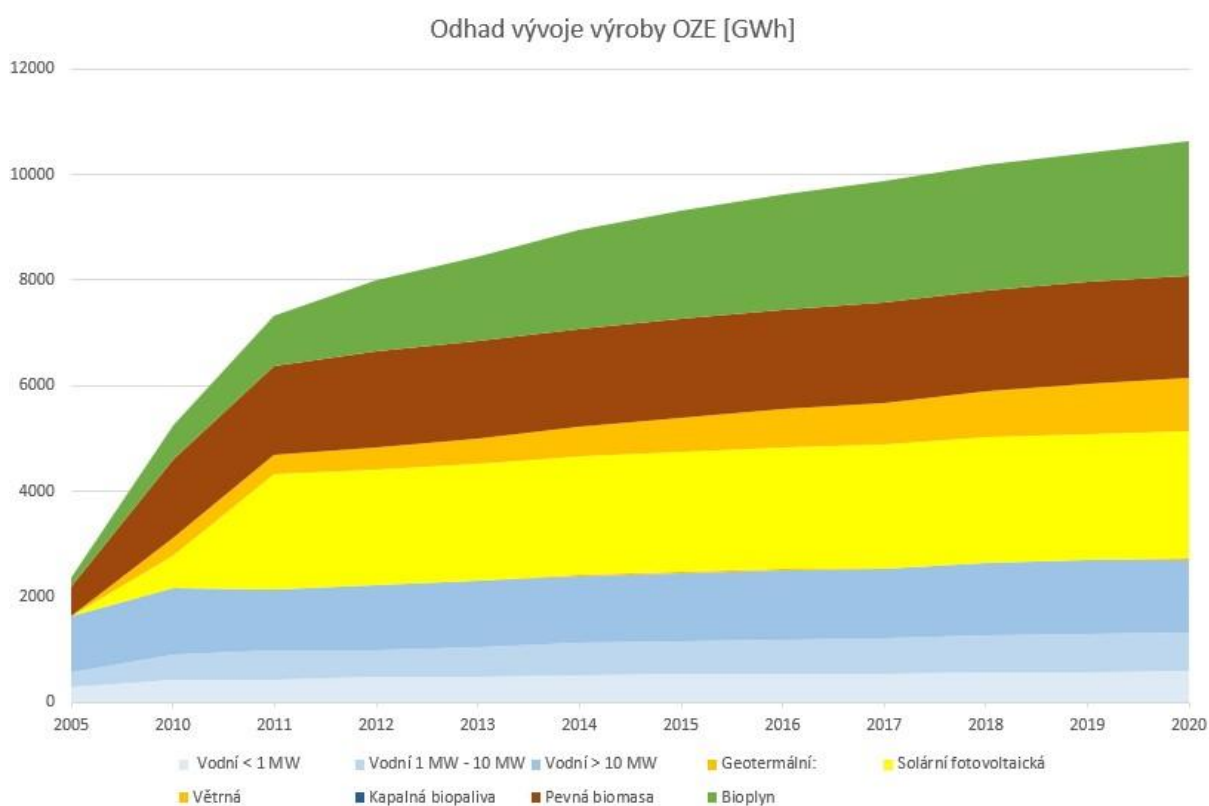
7.1.	FV systém pro přímý ohřev TUV	29
7.1.1.	Návrh systému SOLAR KERBEROS	30
7.1.2.	Aplikace fotovoltaického systému na RD	32
7.1.3.	Zohlednění degradace FV panelů	33
7.1.4.	Investiční výdaje	34
7.2.	FV systém pro vlastní spotřebu s využitím přebytků pro ohřev TUV	34
7.2.1.	Návrh systému pro vlastní spotřebu s přebytky pro ohřev TUV	35
7.2.2.	Aplikace fotovoltaického systému na RD	37
7.2.3.	Investiční výdaje	38
8.	Budoucí prognóza vývoje cen elektřiny a zemního plynu	39
8.1.	Předpokládaný vývoj cen elektřiny	39
8.2.	Předpokládaný vývoj ceny zemního plynu	40
9.	Ekonomické hodnocení	41
9.1.	Zhodnocení provozu FV systémů	41
9.2.	Citlivostní analýza vstupních parametrů	44
9.2.1.	Závěrečná doporučení	47
10.	Závěr	48
	Seznam použitých obrázků	50
	Seznam použitých tabulek.....	51
	Seznam použitých grafů.....	52
	Seznam použitých zkratk	53
	Seznam použité literatury	54
	Seznam příloh	57

1. Úvod

Celková spotřeba elektrické energie u nás i ve světě neustále roste. Tento růst byl odstartován zhruba od počátku 20. století a je úzce spojován s rostoucí lidskou populací a také s vývojem a rozmachem ve všech odvětvích moderního průmyslu. S rostoucí poptávkou po elektrické energii narůstají také větší požadavky na její výrobu a spolehlivost dodávky. Dle roční zprávy o provozu ES ČR v roce 2014 vydané Energetickým regulačním úřadem (ERÚ) v roce 2015 se na území České republiky vyrobí ročně přibližně 86 TWh elektřiny brutto. Pod pojmem výroba elektřiny brutto rozumíme celkové množství vyrobené elektřiny na svorkách generátorů. Při čemž až 84 % z této vyrobené elektřiny pochází z tepelných a jaderných elektráren. Při těchto výrobních procesech jsou využívány jako palivo tradiční zdroje energie, a to především černé a hnědé uhlí, uran a zemní plyn. Zásoby těchto zdrojů jsou však omezené. Česká republika není schopna pokrýt celkovou spotřebu uvedených surovin z vlastních zdrojů, a proto je z určité části závislá na dovozu těchto surovin ze zahraničí. Spotřeba hnědého a černého uhlí je z významné části pokryta těžbou z lokálních zdrojů. Malá část je však přesto dovážena, a to především z Polska. Naopak je tomu u jaderného paliva, jelikož v ČR nemáme žádnou výrobu jaderného paliva, jsme plně závislí na jeho dovozu ze zahraničí. Při zpracování těchto zdrojů jsou produkovány nežádoucí emisní skleníkové plyny, které negativně ovlivňují životní prostředí. Pro výše zmíněná negativa využití tradičních zdrojů energie je nutné se více zaměřit na využití alternativních a obnovitelných zdrojů energie (OZE), které nám přináší čistou elektrickou energii bez negativního dopadu na životní prostředí. Problém však může nastat při vlastní definici obnovitelných zdrojů. Obecné definice selhávají při jasné definici, co je a co již obnovitelný zdroj není. Proto se zejména ve strategických dokumentech využívá taxativní definice, např. dle Zákona č. 165/2012 Sb., který pojednává o podporovaných zdrojích energie, se rozumí [1], „obnovitelnými zdroji obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu z čistíren odpadních vod a energie bioplynu“.

Obnovitelné zdroje energie se stávají nedílnou součástí současných energetických soustav při plnění dlouhodobé energetické a klimatické strategie Evropské unie, která je zaměřena zejména na dekarbonizaci energetiky a rozvoje využívání OZE. Ze směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů, vychází závazný cíl pro snižování emisí a rozvoje OZE v Evropské unii jako celku. Tento cíl je součástí klimatického balíčku 20-20-20 a stanovuje 20% snížení emisí skleníkových plynů k roku 2020 v porovnání s produkcí emisí v roce 1990. Dále zavazuje členské státy EU jako celek k dosažení celkového podílu 20 % OZE v hrubé konečné spotřebě elektrické energie a zvýšení účinnosti využití

energie z OZE na 20 %. Pro Českou republiku byl Evropskou komisí stanoven minimální limit ve výši 13% podílu OZE na hrubé konečné spotřebě elektrické energie do zmíněného roku 2020. Pro spolehlivé plnění těchto tří vrcholových strategických cílů, byl vymezen optimalizovaný scénář, který je obsažen v Aktualizaci státní energetické koncepce České republiky (dále jen ASEK) vydaný Ministerstvem průmyslu a obchodu v prosinci 2014. Tento scénář obsahuje jednotlivé kroky a opatření, které mají vést ke spolehlivému plnění těchto cílů energeticko-klimatické průmyslové politiky ČR a EU. Z ASEKu vychází Národní akční plán pro energii z obnovitelných zdrojů, který má za úkol analyzovat skutečný vývoj OZE a plnění záměrů uvedených v ASEKu. V roce 2015 byl dle Národního akčního plánu celkový podíl OZE na konečné spotřebě již 12,7 %. Proto byl plán a scénář v tomto roce nově přepracován a navrhuje celkový podíl výroby elektrické energie do roku 2020 z OZE ve výši 15,3 %. V dnešní době již existují nové závazné cíle pro dosažení nízkouhlíkové energetiky do roku 2030. V dokumentu ASEK z prosince 2014 je uvedeno [2], „V říjnu 2014 bylo dosaženo dohody o výši a závaznosti cílů pro klimaticko-energetický rámec evropské politiky na roky 2020-2030. Součástí balíčku je celoevropský závazný cíl pro redukci emisí skleníkových plynů ve výši 40 % vůči roku 1990, indikativní (nezávazný) cíl zvýšení energetické účinnosti o minimálně 27 %, závazný cíl pro podíl energie z OZE na konečné spotřebě minimálně 27 %“.



Obrázek 1 - Vývoj výroby elektřiny z OZE [3]

Z obrázku 1 můžeme vidět, že mezi nejvíce se rozvíjející trendy blízké budoucnosti ve výrobě čisté elektrické energie patří elektrárny spalující bioplyn, biomasu a také fotovoltaické elektrárny. Fotovoltaické elektrárny v roce 2015 vyrobily celkově zhruba 2,27 TWh, což činí cca 2,5 % celkové vyrobené elektrické energie a 24,4 % celkové vyrobené energie pocházející z OZE. Mezi největší výhody FVE patří využití lokálního a neomezeného zdroje energie Slunce a v dnešní době již velká technologická dostupnost. Dále mezi jejich výhody řadíme čistotu jejich provozu, a tedy jejich šetrnost k životnímu prostředí. Z počátku nebyly však fotovoltaické elektrárny pro investory lákavé. Výstavba fotovoltaických elektráren z důvodu jejich vysokých počátečních investic a dlouhé doby návratnosti stagnovala. Změna přišla v roce 2008, kdy odstartoval tzv. solární boom, který vrcholil v roce 2010. Solární boom byl zapříčiněn rapidním poklesem cen solárních panelů, nevhodně a zastarale nastavenými státními podporami pro výstavbu FVE, které pružně nezareagovaly na pokles cen panelů. Dále byla výstavba FVE podporována garantovanými cenami výkupu elektřiny do sítě od provozovatelů FVE. Výkupní cena byla limitována ze zákona č. 180/2005 Sb. o maximální pokles 5 % meziročně. V posledních letech však klesly ceny potřebných komponentů a samotných FVE panelů na tak nízkou finanční náročnost, že byly dotační programy pro podporu výstavby FVE v roce 2014 zrušeny. Fotovoltaické elektrárny mají však i své nedostatky. Je to jejich stále nízká účinnost, která se pohybuje v rozpětí 15-20 % dle využitého typu panelu a jejich závislost na denní době, intenzitě slunečního svitu a klimatických podmínkách dané lokality.

V dnešní době je jistým trendem v oblasti obnovitelných zdrojů částečný přesun výroby elektrické energie do sektoru domácností a malých společností. Jedná se o instalace vlastních malých FVE jako alternativních zdrojů energie pro vlastní spotřebu. Právě pro malé FVE s instalovaným výkonem do 10 kW (tzv. mikrozdroje) byly spuštěny nové dotace a podpůrné programy tzv. „Nová zelená úsporám“ právě na přelomu roku 2015/2016. Vzniká tak jistá snaha o nový impuls k vytvoření decentralizované a částečně nezávislé sítě výroby elektrické energie. Zaměřím se tedy na otázku, zdali je provoz, výstavba a prvotní investice do malých fotovoltaických elektráren pro soukromé osoby za daných legislativních a provozních podmínek ekonomicky rentabilní a je-li malá FVE schopna konkurovat ostatním zdrojům elektrické energie.

2. Fotovoltaický článek, princip a technické parametry

Fotovoltaický článek je základním prvkem technologických systémů, které přeměňují energii slunečního záření na energii elektrickou. Historie fotovoltaiky sahá až do roku 1839, kdy francouzský fyzik Alexandr Edmond Becquerel při svých experimentálních pokusech poprvé pozoroval fotoelektrický jev. Jeho pokus spočíval v tom, že do nádoby rozdělené uprostřed stěnou umístil dvě platinové elektrody. Obě vzniklé části nádoby poté vyplnil elektrolytem. Po připojení citlivého galvanometru k oběma elektrodám nádobu světlotěsně uzavřel. Galvanometr při této konfiguraci neukazoval žádnou výchylku hodnoty. Po odstranění světlotěsného víka z nádoby a osvětlení elektrod se objevilo mezi elektrodami elektrické napětí, které bylo změřeno galvanometrem. Při tomto pokusu byla poprvé v historii lidstva pozorována přímá přeměna světelné energie na elektrickou.

2.1. Fotoelektrický jev

Následující teoretické poznatky byly volně převzaty z uvedených zdrojů [4], [5], [6]. Fotoelektrický jev teoreticky objasnil na základech Planckovy kvantové hypotézy v roce 1905 Albert Einstein, který byl za tento objev oceněn Nobelovou cenou za fyziku v roce 1921. Kvantová fyzika pohlíží na sluneční záření jako na elektromagnetické vlnění, které není vyzařováno ani pohlcováno spojitě, tak jak se předpokládalo, ale šíří se v takzvaných kvantech energie. Pro energii tohoto kvanta platí, že je přímo úměrná jeho frekvenci šíření a tzv. Planckově konstantě a nepřímo úměrná jeho vlnové délce. Kvantu zářivé energie se šíří rychlostí světla. Kvantu energie nazýváme fotony. Pro energii jednoho kvanta, tedy jednoho fotonu, platí rovnice:

$$E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda} [J] \quad (1.)$$

kde	E	[J]	energie fotonu
	h	[J. s]	Planckova konstanta= $6,626 \cdot 10^{-34}$
	f	[Hz]	frekvence fotonu
	c	[m/s]	rychlost světla ve vakuu = $3 \cdot 10^8$
	λ	[m]	vlnová délka

Albert Einstein vysvětlil na základě těchto poznatků fotoelektrický jev následovně: „Elektron je v krystalové mřížce kovu poután určitou silou a pro jeho uvolnění je třeba vykonat určitou práci, tzv. výstupní práci A . Foton dopadajícího záření předá celou svoji energii E_f jednomu elektronu kovu. Část této energie se spotřebuje na uvolnění elektronu z kovu (výstupní práce A) a zbytek se přemění na kinetickou energii uvolněného elektronu E_k .“ [4]

Ze zákona o zachování energie plyne Einsteinova rovnice o fotoelektrickém jevu:

$$E_f = A + E_k \quad (2.)$$

$$h \cdot f = A + \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (3.)$$

kde	E_f	[J]	energie fotonu
	A	[eV]	výstupní práce elektronu
	E_k	[J]	kinetická práce elektronu
	m	[kg]	hmotnost elektronu
	v	[m. s]	velikost rychlosti elektronu

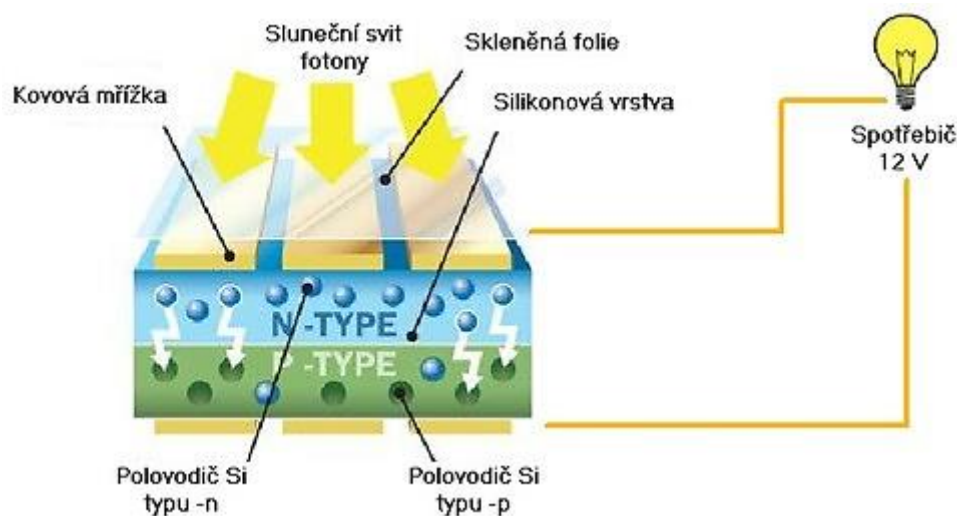
Aby došlo k fotoefektu, musí mít dopadající foton minimální energie $E_f = A$, což je energie potřebná k uvolnění k elektronu z vazby obalu atomu. [7] Tato minimální energie dopadajícího fotonu (výstupní práce elektronu) je označována jako ionizační energie. Velikost této ionizační energie potřebné k vyražení elektronu z látky je označována jako fotoelektrická bariéra a její hodnota je závislá na materiálu dané látky. K překonání fotoelektrické bariéry musí mít foton dostatečnou energii, tedy dostatečně velkou frekvenci f , tj. dostatečně malou vlnovou délku λ . Tuto minimální potřebnou frekvenci nazýváme mezní prahovou frekvenci pro fotoefekt a značíme ji f_0 . Z rovnice (2.) vidíme, že pokud platí $E_f > A$, tak se přebytečná energie, kterou předal foton elektronu, přemění na jeho kinetickou energii. Z rovnice (3.) můžeme také tvrdit, že energie uvolněného elektronu závisí pouze na frekvenci dopadající záření, a nikoliv na jeho intenzitě. Na intenzitě dopadajícího záření závisí pouze množství uvolněných elektronů v látce. Čím vyšší je intenzita dopadajícího záření, tím je vyšší počet uvolněných elektronů. Mezní prahovou frekvenci určíme ze vztahu pro nastání fotoefektu tedy $h \cdot f = A$:

$$f_0 = \frac{A}{h} [\text{Hz}] \quad (4.)$$

Fotoelektrický jev rozdělujeme na vnitřní a vnější. Vnější fotoelektrický jev je specifický tím, že dopadající foton na povrch určité látky vyrazí elektron z povrchu ven mimo látku. Těmito vyraženými elektrony vzniká tzv. fotoproud. Tohoto jevu využíváme např. v noktovizorech, fotodetektorech. Naopak při vnitřním fotoelektrickém jevu je při dopadu fotonu na povrch vodivé látky elektron uvolněn uvnitř vodiče a zvyšuje tak jeho vodivost. Nejčastěji tento jev aplikujeme v polovodičích, v nichž jsou tímto způsobem uvolňovány elektrony (fotodiody, fototranzistory). Tohoto vnitřního fotoefektu využíváme právě ve fotovoltaických článcích.

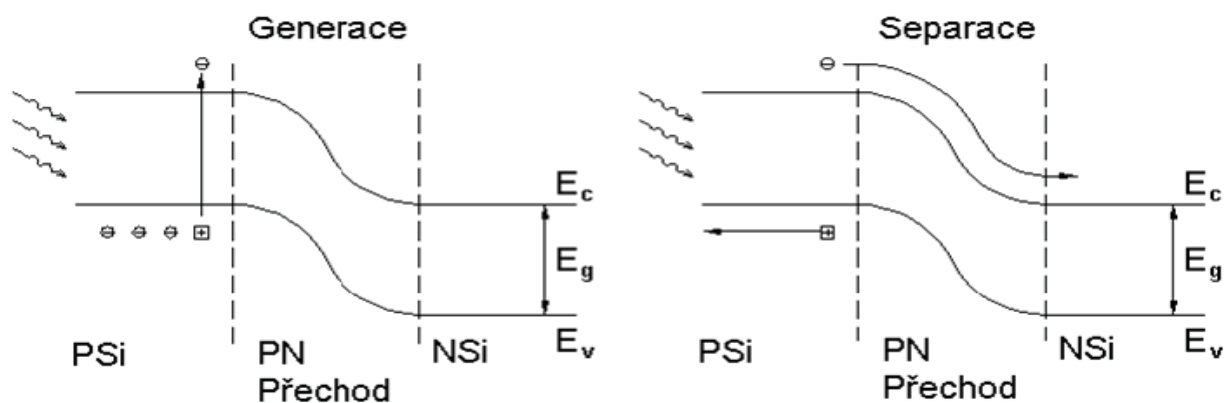
2.2. Princip fotovoltaického článku

Fotovoltaický článek funguje na principu fotovoltaického jevu, který je hlouběji vysvětlen v kapitole 2.1. Fotoelektrický jev. Základem fotovoltaického článku je tenká polovodičová destička vodivosti typu P (nosičem jsou díry chovající se jako částice s kladným nábojem), na které je při výrobě vytvořena tenká vrstva polovodiče typu N (nosičem jsou elektrony chovající se jako částice se záporným nábojem). Solární článek je tedy velkoplošná dioda s jedním nebo více P-N přechody. Obě vnější strany P i N vrstev jsou opatřeny metalizací, která tvoří kontakt pro odvod vzniklého napětí viz obrázek 2.



Obrázek 2 - Princip FV článku [8]

Při dopadu elektromagnetického slunečního záření na fotovoltaický článek dochází k pohlcení fotonu. Pohlcením fotonu dochází k předání energie a ke generaci elektronu, který musí být excitován do vyšších vrstev vodivostního pásu. Dopadající foton musí mít dostatečně velkou energii, aby došlo k překonání zakázaného pásu znázorněno na obrázku 3. U křemíku je například energie nutná k překonání zakázaného pásu rovna 1,12 eV. Tato energie je závislá na vlnové délce světla a energii 1,12 eV odpovídá hraniční hodnota vlnové délky světla 1 105 nm. Pro fotony světla delších vlnových délek platí, že nemají dostatečnou energii k vyvolání fotoefektu. Při dopadu fotonu dostatečné energie vzniká pár elektron – díra, který musí být od sebe separován, aby nedošlo k jeho zpětné rekombinaci a zániku náboje. Z tohoto důvodu se využívá právě spojení polovodičů opačných vodivostí, kde jsou elektrony a díry separovány vnitřním elektrickým polem P-N přechodu. Nahromaděním a separací elektronů od děr vzniká mezi horním a dolním kontaktem FV článku elektrické napětí o velikosti zhruba 0,6 V. Po připojení vnějšího obvodu ke kontaktům článku se začnou nahromaděné kladné a záporné náboje vyrovnávat a obvodem začne protékat stejnosměrný proud, který je přímo úměrný ploše článku a intenzitě slunečního záření. [10] [9]

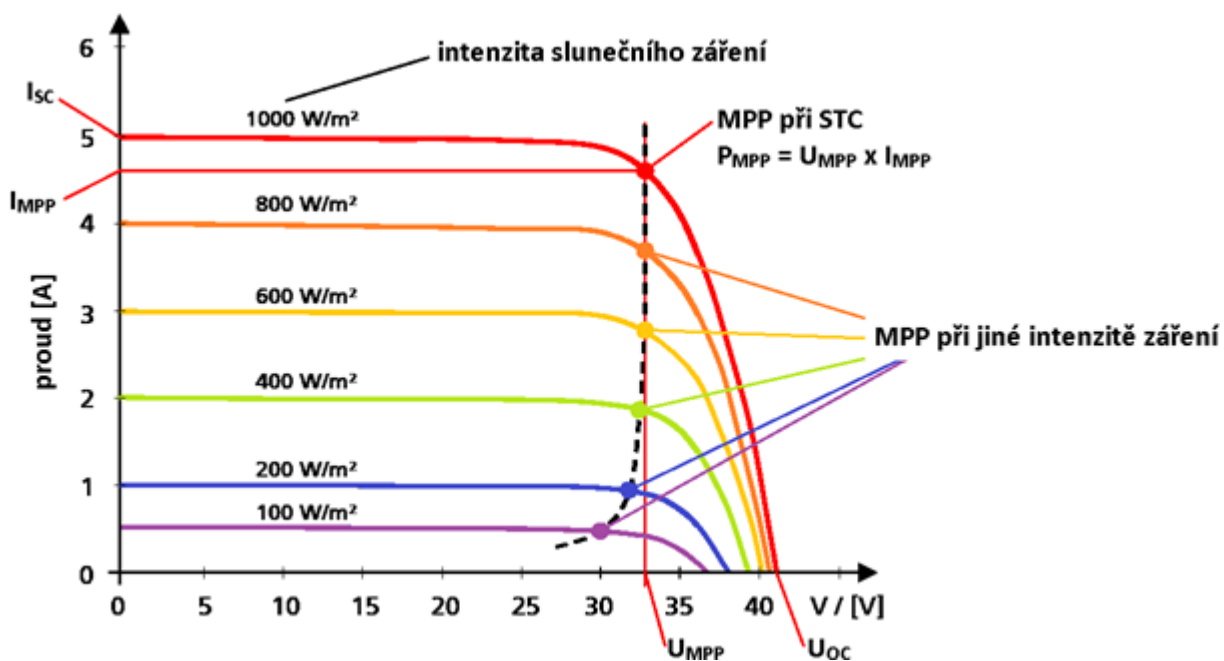


Obrázek 3 - Funkce P-N přechodu při fotoelektrickém jevu [10]

E_c – energie vodivostního pásu, E_g – energie zakázaného pásu, E_v – energie valenčního pásu

2.3. Parametry fotovoltaických článků

Elektrické vlastnosti fotovoltaických článků nám udává jejich volt-ampérová charakteristika, která vyjadřuje závislost proudu na napětí při daném osvětlení článku. Hraniční hodnoty na V-A charakteristice FV článku jsou proud nakrátko I_{sc} a napětí naprázdno U_{oc} . Z obrázku 4 můžeme tvrdit, že výkon daného FV článku je závislý nejvíce na intenzitě slunečního záření. Následující parametry FV článků by měl udávat jejich výrobce v katalogu. [10]



Obrázek 4 - Výkonová charakteristika FV článku při různé intenzitě záření [11]

Měření následujících elektrických parametrů FV článku se provádí při standartních testovacích podmínkách tzv. STC (Standart test condition). Měření dle norem STC se provádí při ozáření FV článku zářením o intenzitě 1000 W/m², teplotě článku 25 °C a hodnotě AM = 1,5. Hodnota AM značí spektrální složení dopadajícího světla po průchodu atmosférou.

Napětí naprázdno – U_{oc} [V]

Napětí naprázdno (open circuit) nám udává hodnotu maximálního napětí článku, pokud není ke článku vnějším obvodem připojen žádný spotřebič. U křemíkových monokrystalických článků je toto napětí zhruba 0,6V.

Proud nakrátko – I_{sc} [A]

Proud nakrátko (short circuit) je maximální zkratový proud daného FV článku, který je schopen při dané intenzitě slunečního záření a teplotě dodávat. Hodnoty proudu nakrátko se pohybují od desítek mA do jednotek A.

Bod maximálního výkonu – M_{pp}

Bod maximálního výkonu FV článku je bod na jeho V-A charakteristice, v kterém má daný FV článek při daném slunečním záření největší výkon. Bod M_{pp} se na V-A charakteristice nachází na souřadnicích U_{mpp} a I_{mpp} .

Napětí maximálního výkonu – U_{mpp} [V]

Napětí maximálního výkonu je hodnota napětí při maximálním výkonu P_{mpp} v bodě M_{pp} .

Proud maximálního výkonu – I_{mpp} [A]

Proud maximálního výkonu je hodnota napětí při maximálním výkonu P_{mpp} v bodě M_{pp} .

Maximální výkon – P_{mpp} [Wp]

Maximální výkon FV článku se udává v jednotkách [Wp] Watt-peak. Maximální výkon vypočítáme jako součin proudu a napětí při maximálním výkonu. Výkon určitého FV článku závisí na intenzitě slunečního záření, teplotě článku a spektru dopadajícího světla.

$$P_{mpp} = U_{mpp} * I_{mpp} [Wp] \quad (5.)$$

Dalšími charakteristickými parametry pro FV článek jsou činitel plnění FF (*Fill Factor*) a jeho účinnost (η).

Činitel plnění – FF (Fill Factor) [-]

Faktor plnění je definován jako poměr mezi maximálním výkonem, tedy výkonem v bodě M_{pp} a výkonem daným součinem napětím naprázdno a proudem nakrátko. Dle hodnoty činitele FF posuzujeme kvalitu fotovoltaického článku, čím vyšší, tím je FV článek kvalitnější a je schopen dodávat vyšší výkon.

$$FF = \frac{U_{mpp} * I_{mpp}}{U_{c0} * I_{sc}} [-] \quad (6.)$$

Účinnost FV článku - (η) [-]

Účinnost FV článku je definována jako podíl maximálního výkonu článku v bodu MPP a celkového výkonu dopadajícího slunečního záření na FV článek (P_{in}). Jde o účinnost přeměny ze sluneční energie na elektrickou. Účinnost dnešních článků se pohybuje v praxi v rozmezí 14 % - 20 % dle typu článku.

$$\eta = \frac{U_{mpp} * I_{mpp}}{P_{in}} = \frac{U_{mpp} * I_{mpp}}{E * A_c} [-] \quad (7.)$$

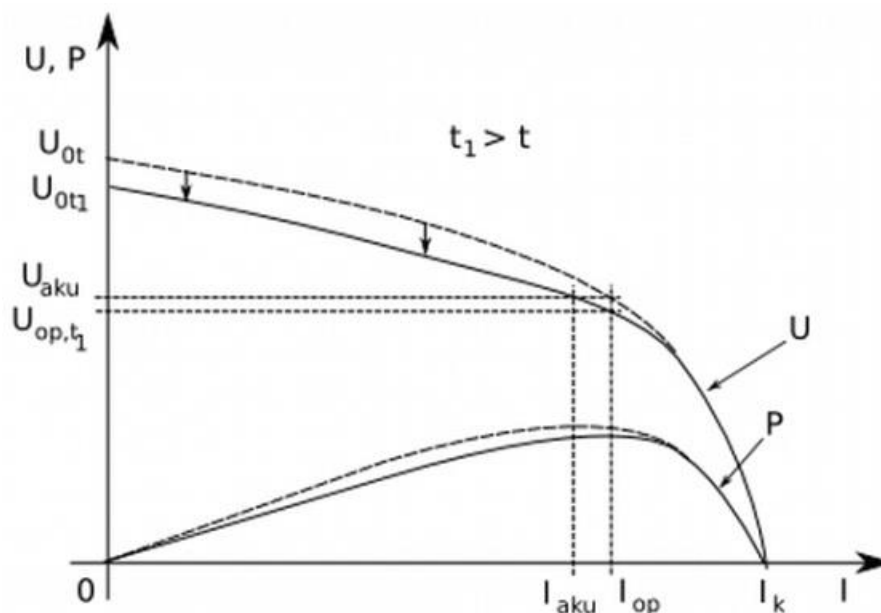
kde E [W/m²] intenzita slunečního záření
 A_c [m²] plocha FV článku

2.3.1. Vliv teploty FV článku na jeho parametry

Při zvýšení teploty článku dochází ke zvýšení difúzní hodnoty minoritních nosičů náboje a v důsledku toho dochází ke zmenšení energetické mezery polovodiče, jelikož se minoritní nosiče samovolně přemisťují do jiných energetických hladin. Tento jev má za důsledek zvýšení fotoproudu. Nárůst fotoproudu (počet uvolněných elektronů) je však zanedbatelný. Významnější je v tomto případě však pokles napětí naprázdno.

Pokud dojde ke zhoršení podmínek chlazení článku v praxi např. bezvětří, tak při déletrvající vysoké intenzitě slunečního záření dochází k ohřívání FV článku na vysoké teploty. Při těchto vysokých teplotách se mění elektrické parametry FV článku, což je patrné z obrázku 5. Změna těchto parametrů má za důsledek snížení zatěžovací charakteristiky k nižším napětím, a tedy i snížení dodávaného výkonu. Např. pro FV článek z krystalického křemíku je pokles U_{oc} okolo 0.4%/K a pokles účinnosti je přibližně 0,5%/K.

Na účinnost FV článku má také vliv velikost jeho sériového a paralelního odporu. Pro malé sériové odpory při růstu intenzity slunečního záření platí, že účinnost roste. Naopak pro velký sériový odpor jeho účinnost s rostoucí intenzitou záření klesá.



Obrázek 5 - Vliv teploty na výkon FV článku [10]

2.4. Vývojové generace FV článků

Fotovoltaické články už mají za sebou několik desítek let vývoje. Při vývoji je snaha dosáhnout zlepšení účinnosti FV článku a snížit objem spotřeby drahých materiálů, potřebných pro jejich výrobu. Pro větší přehlednost se vývoj FV článků dělí do tří základních generací vývoje. Následující kapitola a teoretické poznatky v ní jsou volně převzaty ze zdrojů [10], [12].

2.4.1. FV články první generace

Fotovoltaické články první generace jsou nejčastěji tvořeny deskami monokrystalického křemíku, které spojením vytvářejí PN přechod. Desky z těchto článků jsou v dnešní době nejrozšířenějšími na trhu a to zhruba 90 %. Jsou charakteristické velmi dobrou životností a zachováním účinnosti. Jejich účinnost se pohybuje v sériové výrobě v rozmezí od 14 % až do 20 %. Při výrobě pro laboratorní účely může jejich účinnost dosahovat až 25 %. Jejich hlavní nevýhodou je velký nárok na spotřebu velmi čistého a drahého krystalického křemíku. Toto byl impuls pro výzkum a vývoj nových typů článků s větší úsporou právě krystalického křemíku.

2.4.2. FV články druhé generace

Druhá generace FV článků se snaží o snížení množství spotřebovávaného čistého křemíku. Pro zlevnění výroby se začíná nahrazovat monokrystalický křemík polykrystalickým a amorfním křemíkem. Články této generace jsou ve vrstvách až 100krát tenčích než v předchozí generaci. Dochází tak ke snížení

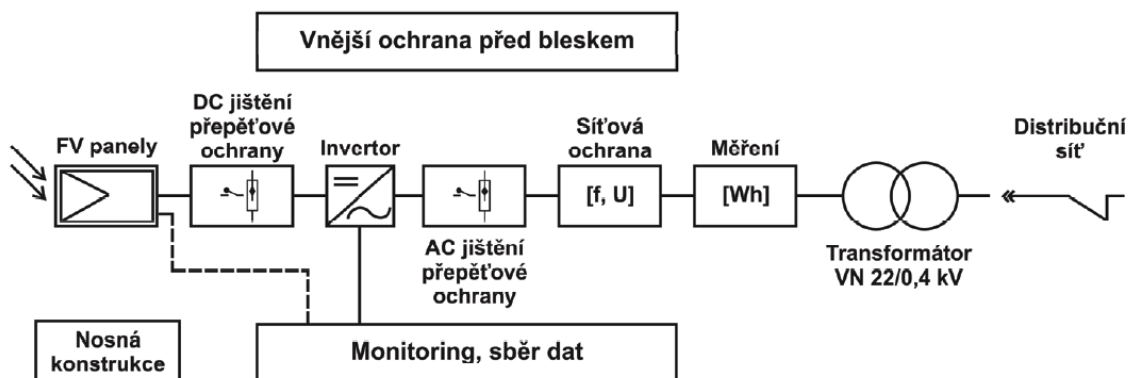
spotřeby drahého křemíku, ke snížení hmotnosti a ke zlepšení mechanických vlastností výsledného panelu, a to zejména pružnosti. Na úkor úspory křemíku dochází ke snížení účinnosti článků na hodnotu okolo 10 %. FV panely z těchto článků se v praxi využívají např. ve formě FV fólií při rekonstrukcích střech se současnou výrobou elektrické energie.

2.4.3. FV články třetí generace

Na této generaci probíhá stále intenzivní výzkum. Je zde snaha o maximální využití energie dopadajícího fotonu a o plné využití slunečního spektra. Tyto FV články se snaží využít k separaci nábojů jiné metody než PN přechody, např. využití několikanásobných přechodů tenkých vrstev, fotoelektrochemické články nebo použití nanostruktur ve formě uhlíkových tyčí a trubiček. Hlavní výhodou těchto článků je jejich cílené ovlivňování elektrických vlastností.

3. Technické řešení FVE elektrárny a její komponenty

Fotovoltaický systém se skládá z více potřebných komponentů a částí. Mezi nedůležitější komponenty FVE systému řadíme fotovoltaické panely, inverter, nosnou konstrukci. Každý FVE systém, který je umístěn ve venkovním prostředí, by měl být opatřen ochranou proti přepětí a zásahu blesku. Ochranné prvky by měly být umístěny jak na DC straně před střídačem, tak na AC straně za měničem. Jednotlivé komponenty FVE systému a pořadí jejich zapojení můžeme vidět na obrázku 6.[10] [12]

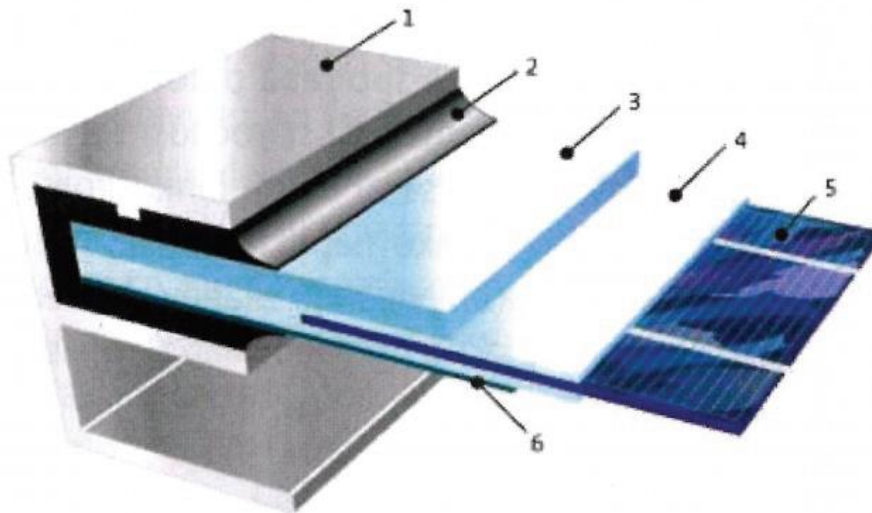


Obrázek 6 - Komponenty FVE systému [10]

3.1. Fotovoltaické panely

Samostatný fotovoltaický článek má jen velmi malé využití, jelikož jeho výstupní napětí i výkon jsou velmi malé. Proto se jednotlivé články dle požadovaného napětí a odebíraného proudu vhodně spojují paralelně či sériově. Takto spojené články nazýváme FV moduly a je nutné je hermeticky uzavřít, aby byly chráněny před vnějšími vlivy a měly dlouhou životnost viz obrázek 7. Proto se FV moduly složené

z článků pokrývají etyl-vinyl-acetátovou fólií EVA (4). Dále je přední strana modulu opatřena vysoce průhledným a speciálně tvrzeným sklem (3). Současně však toto sklo obsahuje i antireflexní vrstvu, která snižuje jeho odrazivost. Zadní strana je opatřena vícevrstvou ochrannou fólií anebo ochranným sklem (6). Takto ošetřený modul je uzavřen do utěsněných hliníkových rámu (1,2). Tyto rámy následně slouží k jeho uchycení k nosným konstrukcím. Obvykle jsou v praxi voleny FVE panely s výkonem 160–300 Wp. Jejich ideální hodnota výstupního stejnosměrného proudu a napětí je 40 V a 5 A. Při instalaci FVE panelu je nutné se snažit dodržet jeho ideální sklon, při kterém dosahuje nejvyšších výkonů. V našich zeměpisných šířkách je tento sklon 33°. Panel by měl být také ideálně orientován na jih. Při odklonu o zhruba 20° od jižního směru je pokles výkonu minimální, a to cca 5 %. Poznatky v celé kapitole 3.1. jsou teoreticky inspirovány ze zdrojů [10], [17].



Obrázek 7 - Konstrukce FV modulu [10]

3.1.1. FV panely z monokrystalického křemíku

Tento typ FV článků je nejstarším a také základním typem. Články jsou vyráběny z monokrystalického křemíku a většinou mají charakteristický tvar osmiúhelníku a jsou tmavě modré až černé. Vyrábí se z ingotů, které jsou vyrobeny pomalým tažením krystalu z taveniny z velmi čistého křemíku. Takhle vzniklý ingot se po vytažení ochladí a je následně přesně rozřezán laserem nebo drátovou pilou na tenké plátky o tloušťce až 0,1 mm. Takto vyrobené tenké destičky se povrchově upraví leptáním, aby došlo k odstranění nepravidelností a nečistot. Polovodičový PN přechod se na deskách vytváří přidávkem fosforu, který na povrchu vytváří vrstvu s vodivostí typu N. Povrch se pokryje dále antireflexní vrstvou, která zabraňuje odrazu potřebného slunečního záření. Nakonec se povrch článku pokrývá kontakty, které jsou vytvořeny síťovou metodou. Výroba monokrystalického článku je velmi

energeticky i technicky náročný proces, a proto se hledaly nové metody a typy článků. Účinnost takto vyrobených článků se pohybuje v rozmezí 15 % až 18 %.

3.1.2. FV panely z polykrystalického křemíku

V dnešní době jsou panely s polykrystalickými články nejrozšířenějšími v České republice. Jejich pořizovací náklady jsou nižší než u monokrystalických panelů. Nižší cena je zapříčiněna odlišným postupem výroby, který není tak náročný jak po finanční, tak technické stránce. Články se vyrábí v tavných pecích, kde jsou nejprve roztaveny granule křemíku. Poté postupným ochlazením dochází k jejich krystalizaci. Tyto odlitky se následně upraví na vhodný tvar pro výsledný článek, který je charakteristický svou viditelnou krystalickou strukturou. Článek je stejně jako u monokrystalických článků opatřen antireflexní vrstvou a je na něm metodou sítotisku nanesen kovový kontakt. Panely z těchto článků dosahují nižší účinnosti kolem 14 % - 16 %. Mají také horší elektrické parametry, které jsou zapříčiněny horšími transportními vlastnostmi mezi hranicemi krystalů křemíku v polovodiči.

3.1.3. FV panely z amorfního křemíku

Amorfni články mají charakteristickou černou barvu. Vyrábí se metodou napařování amorfního křemíku přímo na nosný materiál ve vakuových nádobách při teplotách až 200 °C. Nosným materiálem může být v případě těchto článků tenké sklo, plast nebo ohebná fólie. Články vyrobené touto metodou dosahují tlouštěk až 1 μm a řadíme je tedy mezi tenkovrstvé články druhé generace. Jejich hlavní výhoda spočívá v tom, že jsou schopny pojmout mnohem širší spektrum slunečního záření a využívají i difúzního světelného záření. Jejich sériová výroba je několikanásobně levnější. Účinnost těchto článků dosahuje hodnot od 5 % do 8 % a jejich životnost je vůči předchozím typům také menší. Tento pokles účinnosti je způsoben tím, že amorfni články nemají tak pravidelnou strukturu a mají větší množství poruch.

3.1.4. Porovnání parametrů běžně využívaných FVE panelů

FV panely jsou charakterizovány technickými, elektrickými a teplotními parametry. Tyto parametry nám udávají základní vlastnosti a informace o jednotlivých FV panelech a jsou uvedeny v datasheetech přímo od výrobce. Nejdůležitější elektrické parametry byly definovány v kapitole 2.3. Nyní provedu analýzu a porovnání těchto parametrů u vybraných fotovoltaických panelů, které jsou běžně využívány ve fotovoltaických aplikacích. Pro porovnání byly vybrány panely zastupující každou ze tří základních skupin dle struktury jejich článků. Tyto základní skupiny jsou podrobněji popsány v kapitolách 3.1.1., 3.1.2., 3.1.3. [12], [14], [15] Porovnání hlavních parametrů FV panelů je uvedeno v tabulce 1.

Název	BENQ 255WP POLY	BENQ 285WP MONO	NEXPOWER 130WP TF
výrobce	BenQ	BenQ	WINAICO Solar
typ buněk	polykrystalické	monokrystalické	amorfní
výška [mm]	1639	1639	1414
šířka [mm]	983	983	1114
hloubka [mm]	40	40	35
hmotnost [kg]	18,5	18,5	20,5
max. účinnost [%]	15,8	17,7	neuveďeno
počet buněk/ modul	60	60	-
max. výkonová tolerance	3 %	3 %	neuveďeno
jmenovitý výkon [Wp]	255	285	130
U _{mp} [V]	30,8	31	32,2
I _{mp} [A]	8,28	9,2	2,09
U _{oc} [V]	37,6	40	77,6
I _{sc} [A]	8,76	9,8	2,45
Max. systémové napětí [V]	1000	1000	1000
Teplotní koeficient P _n	- 0,39 % / K	- 0,42 % / K	- 0,28 % / K
Teplotní koeficient U _{oc}	- 0,30 % / K	- 0,30 % / K	- 0,32 % / K
Teplotní koeficient I _{sc}	+ 0,07 % / K	+ 0,05 % / K	+ 0,07 % / K
Produktová záruka	10 let	10 let	5 let
Garance výkonu	80 % / 25 let	80 % / 25 let	90 % / 10 let
Cena	4 500 Kč s DPH	5 779 Kč s DPH	1 807 Kč s DPH

Tabulka 1 - Porovnání parametrů FV panelů

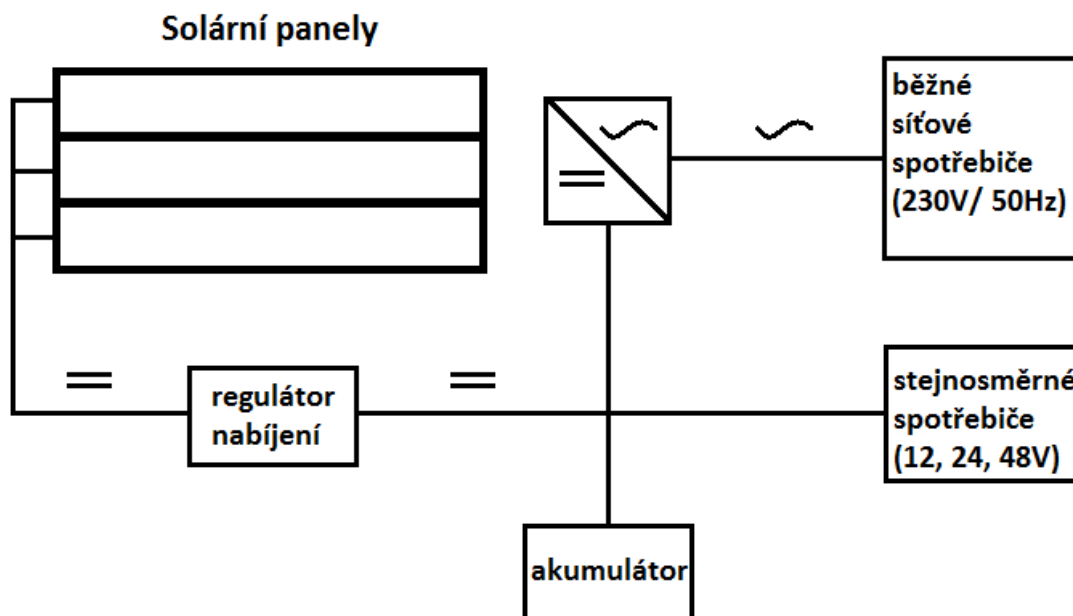
3.2. Střídače (Invertory)

Střídač můžeme označit jako srdce celého fotovoltaického systému. Jeho hlavní funkcí je přeměna vstupního stejnosměrného napětí, které je vyráběno FV panely na výstupní střídavé napětí o elektrických parametrech rozvodné sítě, tedy 230 V a 50 Hz. Střídače mají v dnešní době také funkci k poskytování informací o aktuální výrobě elektrické energie tzv. monitoring, který mívá často uživatelské rozhraní pro snadné připojení k osobním počítačům. Na inverter se kladou velmi vysoké technické a elektrické požadavky. Střídač musí být schopen dodávat co nejvyšší výkon s minimem ztrát tzn. s velmi vysokou účinností přeměny. Maximální účinnost dnešních inverterů se pohybuje v rozmezí 93-98 %. Na první pohled vysoká účinnost však nemusí vždy znamenat vysoké energetické zisky, jelikož tato účinnost je měřena při ideálních podmínkách, které jsou v běžném provozu téměř nemyslitelné. Klademe tedy důraz na to, aby se účinnost přeměny udržela na vysokých hodnotách i při rychlých změnách klimatických podmínek a teplot. Tento požadavek je splněn za použití tzv. MPP trackeru ve střídači, což je elektronické zařízení, které sleduje aktuální maximální bod výkonu (MPP) FV panelů a nastavuje změnou vstupního odporu vhodný pracovní bod střídače. Pro ochranu střídače se používá velmi často zapojení s vnitřním transformátorem, které tvoří galvanické oddělení stejnosměrné a střídavé strany. Přítomnost transformátoru však snižuje účinnost střídače o zhruba 2 %. Tento pokles je způsoben tepelnými ztrátami na transformátoru. Dle typu zapojeného FV systému, ve kterém se

inverter nachází, je dělíme do tří základních kategorií. FV systémy rozlišujeme na Grid-off, Grid-on a Hybridní. [10], [16]

3.2.1. Grid-off systémy

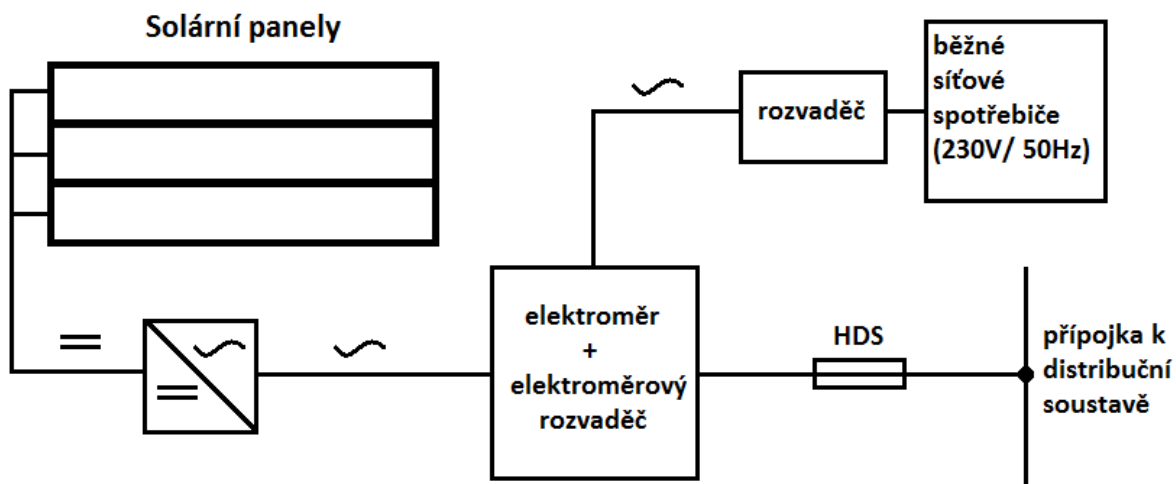
Grid-off systémy, někdy je také nazýváme autonomními systémy, jsou charakteristické tím, že nejsou propojeny s elektrickou rozvodnou sítí. Nejčastěji se aplikují v místech, kde není k dispozici veřejná rozvodná síť. Tyto systémy se skládají z fotovoltaických panelů, měničů, akumulátorových baterií a ochranných obvodů (regulátorů), které chrání baterii před případným přebíjením. Baterie jsou v těchto systémech potřebné z důvodu, že energie ze slunečních panelů není k dispozici tehdy, kdy nastává její největší spotřeba. V těchto systémech můžeme zapojit spotřebiče stejnosměrné (nejčastěji 12 V nebo 24 V) i spotřebiče střídavé (230 V, 50 Hz).



Obrázek 8 - Grid-Off FVE systém

3.2.2. Grid-on systémy

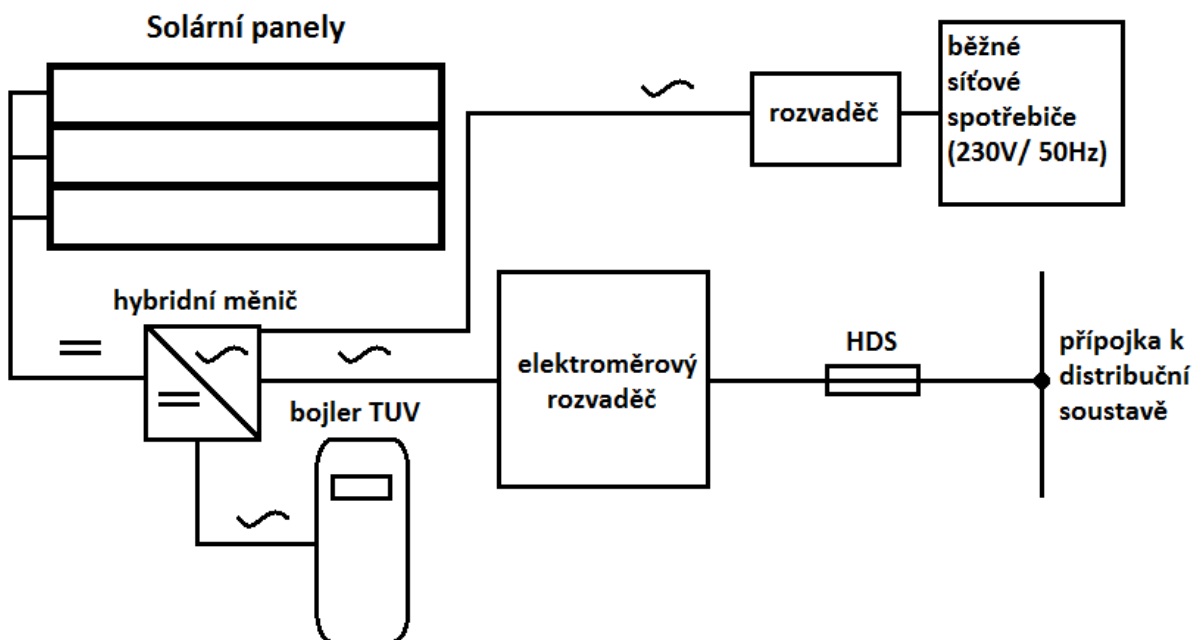
Tyto systémy jsou charakteristické tím, že jsou připojené k veřejné rozvodné síti. Propojení FV systému a sítě je realizováno přes elektroměr. V případě, že systém vyrábí více elektrické energie, je tato přebytečná energie dodávána do sítě. Grid-on systémy se zpravidla skládají z fotovoltaických panelů, měniče napětí, zařízení pro měření, regulaci a síťové ochrany. V těchto systémech se používají jednofázové invertory, jelikož jejich instalovaný výkon např. na rodinných domech či menších objektech nepřesahuje 4 kW. Po překročení této hranice se doporučuje použití třífázových invertorů.



Obrázek 9 - Grid-on FVE systém

3.2.3. Hybridní systémy

Hybridní fotovoltaický systém můžeme chápat jako určité spojení systému Grid-on a ostrovního systému Grid-off. Tento systém nemusí zbytečně přebytečnou energii dodávat do distribuční sítě, jelikož se tato energie využívá přímo v místě výroby a to např. pro ohřev teplé vody, přitápění, v klimatizacích anebo v jiných předem určených spotřebičích. Princip tohoto systému osobně hodnotím za nejkompaktnější a s nejlepším využitím vyrobené energie z FVE.



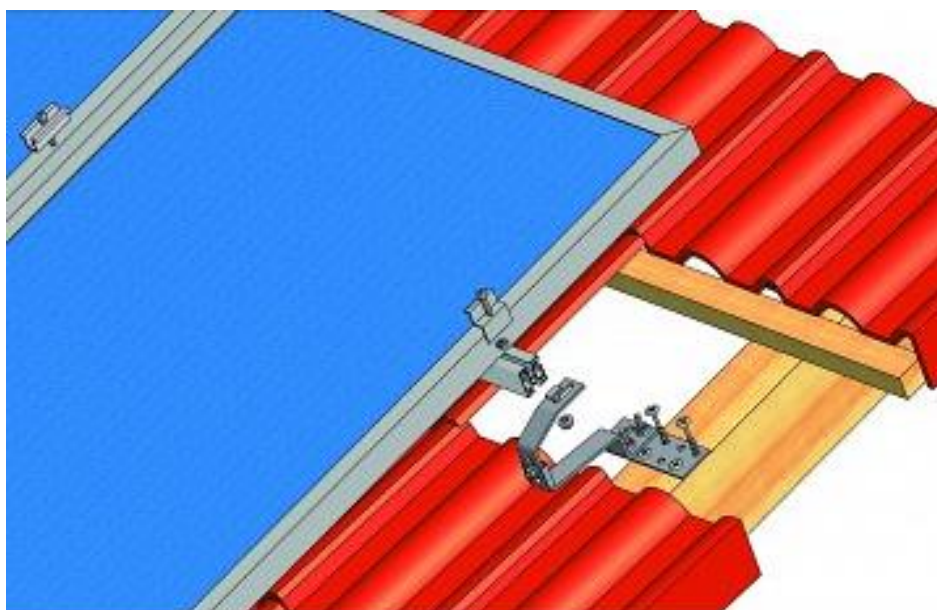
Obrázek 10 - Hybridní FVE systém

3.3. Nosné a konstrukční prvky, kabeláž

K instalaci FVE je zapotřebí nosných konstrukčních systémů. Konstrukční systémy můžeme dle využití rozdělit do čtyř kategorií:

- Konstrukce pro sedlové střechy
- Konstrukce pro ploché střechy
- Konstrukce pro volná prostranství
- Polohovatelné konstrukce

Jelikož budou fotovoltaické panely našeho systému umístěny na rodinném domě, který má sedlovou střechu pokrytou střešními taškami, bude využito právě konstrukce pro sedlové střechy. Tyto konstrukce jsou vhodné zejména pro drobné instalace na rodinných domech se sklonem střechy kolem 35° a orientací na jih nebo jiho-západ. Nosným prvkem jsou zde hliníkové profily, které jsou připevněny ke konstrukci střechy speciálními háky. Následně jsou pak k hliníkovým profilům připevněny FV panely. Montáž těchto konstrukcí je velmi jednoduchá a vyznačuje se nízkou pořizovací cenou.

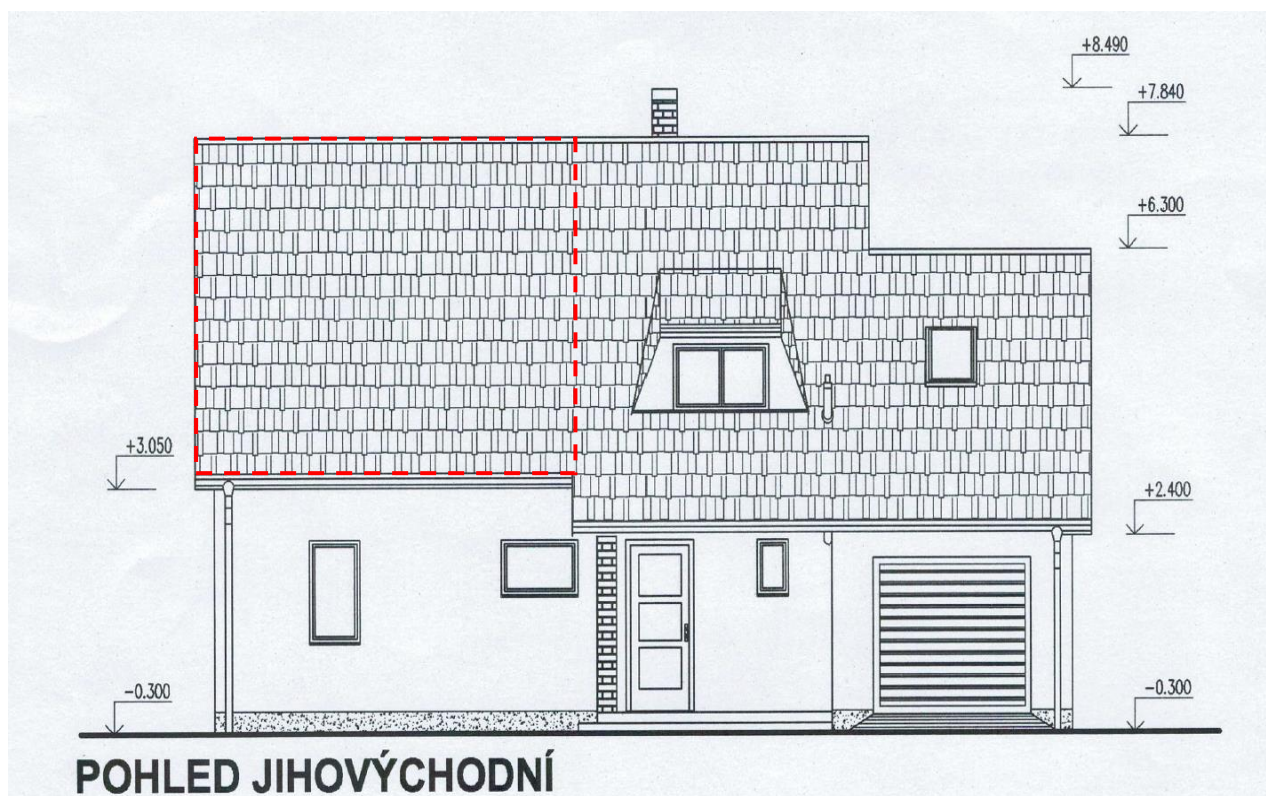


Obrázek 11- Konstrukce pro FV panely určená pro sedlové střechy [18]

Další nedílnou součástí kompletních FV systémů jsou zajisté konektory a potřebné kabely. Kabeláž zajišťuje vhodné spojení FV panelů a invertoru. Typy potřebných konektorů najdeme v datasheetech od výrobce FV panelů, nejčastěji se jedná o typy MC4 a k nim příslušné solární kabely o průměru 4 mm.

4. Popis rodinného domu

Rodinný dům, na který budu umísťovat fotovoltaickou elektrárnu, se nachází ve městě Čáslav, které leží ve Středočeském kraji. Jedná se o novostavbu, která byla zkolaudována na podzim roku 2011. Dům má dvě podlaží s celkovou výměrou užitkové plochy 184 m² a obytné plochy 128 m². Souřadnice domu, které budou v další kapitole využity pro dimenzování výkonu FVE, jsou 49°54'10" severní šířky a 15°23'2" východní délky. Střecha domu, na kterou bude umístěna FVE, je klasická sedlová střecha a je orientována na jihovýchod s odklonem od jihu 23° a má sklon 39°, což je téměř ideální sklon, který činí 34°. Plocha střechy, kterou budeme moci využít pro pokrytí FV panely je na obrázku 12 vyznačena červeně. Její plocha byla vypočítána z projektové dokumentace ke stavbě a činí 45 m². Je zde tedy dostatečná plocha pro bezproblémové umístění požadovaného počtu FV panelů.



Obrázek 12 - Rodinný dům jihovýchodní pohled

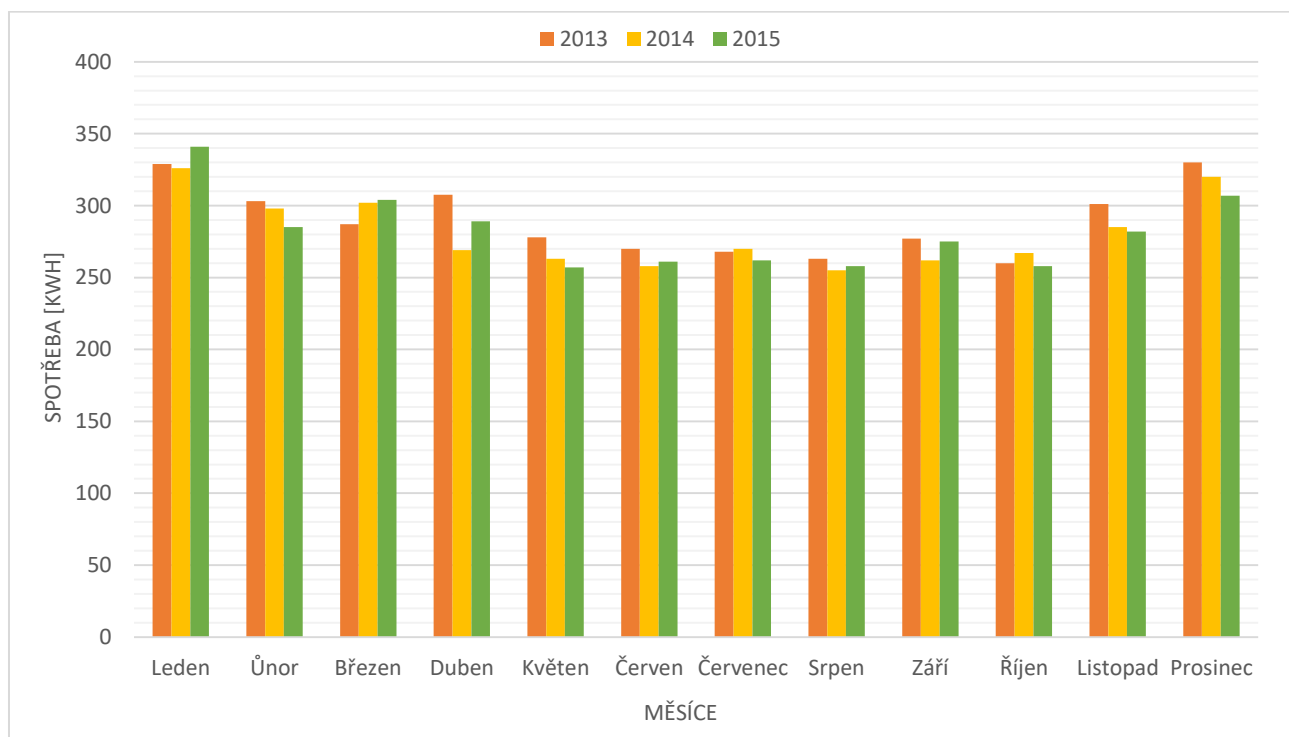
4.1. Vlastní spotřeba elektrické energie

V rodinném domě je vytápění i ohřev teplé vody řešeno za použití plynu. Elektrická energie je využívána pouze v elektrických spotřebičích a ke svícení. Data v následující tabulce 2 jsou přesné odečty elektrické spotřeby RD za uvedené měsíce a vděčím za ně mému otci, který je pečlivě sbíral během uvedených let pro informativní účely. Tabulka obsahuje také pro lepší představu sloupec s průměrnými denními spotřebami v daném měsíci.

rok	2013		2014		2015	
měsíc	spotřeba [kWh]		spotřeba [kWh]		spotřeba [kWh]	
	za měsíc	Σ den	za měsíc	Σ den	za měsíc	Σ den
Leden	280	9,03	326	10,52	341	11,00
Únor	303	10,82	298	10,64	285	10,18
Březen	287	9,26	302	9,74	304	9,81
Duben	307,5	10,25	269	8,97	289	9,63
Květen	278	8,97	263	8,48	257	8,29
Červen	270	9,00	258	8,60	261	8,70
Červenec	268	9,61	270	8,71	262	8,45
Srpen	263	8,48	255	8,23	258	8,32
Září	277	9,23	262	8,73	275	9,17
Říjen	260	8,39	267	8,61	258	8,32
Listopad	301	10,03	285	9,50	282	9,40
Prosinec	330	10,65	320	10,32	307	9,90
celkem [kWh]	3454,5		3375		3379	

Tabulka 2 - Měsíční a denní spotřeba elektrické energie v RD

Pro přehlednost jsem měsíční data z tabulky 2 vynesl do grafu 1, z kterého je vidět, že spotřeba v zimním období mírně stoupá, a naopak v letním období klesá. Tento rozdíl bude pravděpodobně zapříčiněn tím, že je nutné v zimních obdobích delší dobu během dne svítit a obyvatelé domu tráví více času uvnitř.



Graf 1 - Měsíční spotřeba el. energie v letech 2013, 2014 a 2015

Elektrická energie je odebírána od dodavatele ČEZ s.r.o. Celková roční platba za odebranou elektřinu se skládá z několika složek a celková cena za 1 kWh odebrané elektřiny se liší dle využívaného produktu (tarifu). Námi využívaný tarif je D-Standard D02d a jedná se o jednotarifový produkt pro běžně vybavená odběrná místa. Následující tabulka 3 analyzuje složení výsledné ceny odebrané elektřiny ve využívaném produktu. Ceny za jednotlivé složky jsou brány z nového ceníku dodavatele [19], který je platný od 31.3.2016, a je počítáno s daty spotřeby z roku 2015, aby byly výsledná data co nejvíce aktuální.

položka	spotřeba [kWh]	platba za příkon podle jmenovité proudové hodnoty jističe před elektroměrem		silová elektřina		ostatní služby	
		jistič 3x25 A	1kWh = 1,91156Kč	pevná cena	1kWh = 1,18216Kč	systémové služby	podpora elektřiny
						1kWh = 0,12Kč	1kWh = 0,495Kč
Leden	341	107,69 Kč	651,84 Kč	72,60 Kč	403,12 Kč	40,92 Kč	168,80 Kč
Únor	285	107,69 Kč	544,79 Kč	72,60 Kč	336,92 Kč	34,20 Kč	141,08 Kč
Březen	304	107,69 Kč	581,11 Kč	72,60 Kč	359,38 Kč	36,48 Kč	150,48 Kč
Duben	289	107,69 Kč	552,44 Kč	72,60 Kč	341,64 Kč	34,68 Kč	143,06 Kč
Květen	257	107,69 Kč	491,27 Kč	72,60 Kč	303,82 Kč	30,84 Kč	127,22 Kč
Červen	261	107,69 Kč	498,92 Kč	72,60 Kč	308,54 Kč	31,32 Kč	129,20 Kč
Červenec	262	107,69 Kč	500,83 Kč	72,60 Kč	309,73 Kč	31,44 Kč	129,69 Kč
Srpen	258	107,69 Kč	493,18 Kč	72,60 Kč	305,00 Kč	30,96 Kč	127,71 Kč
Září	275	107,69 Kč	525,68 Kč	72,60 Kč	325,09 Kč	33,00 Kč	136,13 Kč
Říjen	258	107,69 Kč	493,18 Kč	72,60 Kč	305,00 Kč	30,96 Kč	127,71 Kč
Listopad	282	107,69 Kč	539,06 Kč	72,60 Kč	333,37 Kč	33,84 Kč	139,59 Kč
Prosinec	307	107,69 Kč	586,85 Kč	72,60 Kč	362,92 Kč	36,84 Kč	151,97 Kč
celkem	3379	1 292,28 Kč	6 459,16 Kč	871,20 Kč	3 994,52 Kč	405,48 Kč	1 672,61 Kč
celková předpokládaná průměrná platba za rok					14 695,24 Kč		

Tabulka 3 - Celková cena elektřiny za rok a její složky

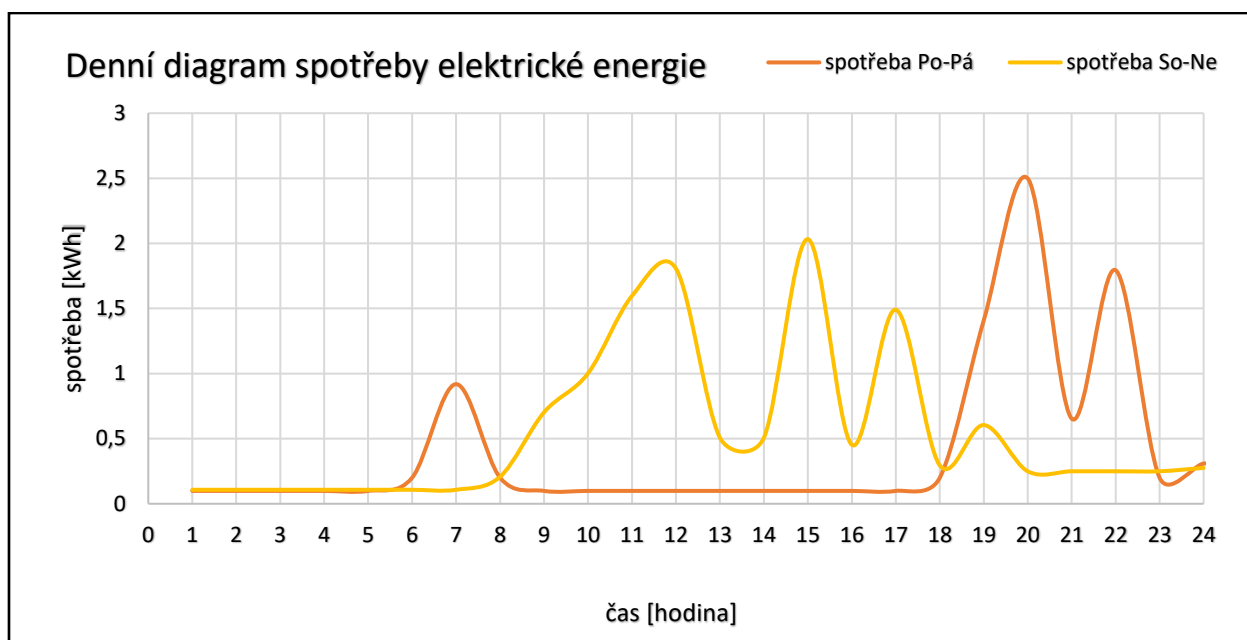
4.1.1. Denní diagram spotřeby elektrické energie v RD

Denní diagramy se od sebe mohou značně lišit podle ročního období, počasí, a zdali je pracovní den nebo víkend. Denní diagram je sestaven na základě poznatků denní průměrné spotřeby z tabulky 4. Do výpočtů zahrnu nejvíce využívané a náročné elektrické spotřebiče v domácnosti. U jednotlivých spotřebičů zjistím jejich jmenovitý příkon P a jak dlouhý časový úsek t a v jakých časech jsou během dne v provozu. Ze zjištěných údajů vypočítám jejich celkovou spotřebu dle vzorce (8.). Z vypočtených hodnot je možno sestavit denní diagram, který hraje zásadní roli při dimenzování požadovaného výkonu FVE a maximalizace účinnosti jejího provozu. Elektrická práce W :

$$W = U \cdot I \cdot t = P \cdot t \text{ [kWh]} \quad (8.)$$

spotřebič	příkon [W]	čas za den [hodina]	čas používání Po-Pá	spotřeba [kWh] Po-Pá	čas používání So-Ne	spotřeba [kWh] So-Ne
kombinovaná chladnička	40	24	0:00 - 24:00	0,93	0:00 - 24:00	0,93
pračka	820	1,5	19:00 - 20:30	1,23	9:00 - 10:30	1,23
myčka	1550	1	20:00 - 21:00	1,55	14:00-15:00	1,55
elektrická trouba	950	0	X	0,00	10:00-11:30	1,425
mikrovlonná trouba	1430	0,33	6:00 - 6:10, 18:30 - 18:40	0,47	X	0
kávovar pákový	350	0,33	6:00 - 6:10, 18:30 - 18:40	0,12	8:00-8:10	0,165
televize LED 123 cm	74	3,5	19:00 -22:30	0,26	9:00-12:00, 17:00 - 23:00	0,666
audio + reproduktory	55	0,5	6:00-6:30	0,03	10:00-11:00	0,055
notebook	45	2	19:30 - 21:30	0,09	15:00-19:00	0,18
stolní počítač + periferie	120	3	19:00-20:00	0,36	16:00-17:00	0,12
žehlička napařovací	1150	1	19:00-20:00	1,15	16:00-17:00	1,15
varná deska malá ind. zóna	1400	0,5	18:30-19:00	0,70	X	0
varná deska velká ind. zóna	2300	0	X	0,00	11:00-11:30	1,15
osvětlení	60	6	6:00-7:00, 18:30-23:30	0,36	16:30-23:30	0,47
Wi-fi router	8	24	0:00 - 24:00	0,19	0:00 - 24:00	0,19
vysavač	750	0	X	0,00	14:30-15:00	0,375
varná konvice	1900	0,33	6:00 - 6:10, 18:30 - 18:40	0,63	8:00-8:10, 19:00- 19:10	0,63
toustovač	750	0,16	6:00- 6:10	0,12	8:00-8:10	0,12
Stand-by odběr	68,75	24	0:00 - 24:00	1,65	0:00 - 24:00	1,65
celkem [kWh]			9,82		12,05	

Tabulka 4 - Odběry spotřebičů během dne



Graf 2 - Denní diagram spotřeby RD

Z grafu 2 je patrné, že během pracovního týdne je zvýšený odběr v ranních hodinách a poté ve večerních hodinách. Naopak o víkendu je odběr více rozložen během dne s odběrovými špičkami, které jsou způsobeny momentálním využíváním náročných spotřebičů, jako jsou např. elektrická trouba, varná deska, žehlička, pračka anebo myčka.

4.2. Spotřeba zemního plynu v RD

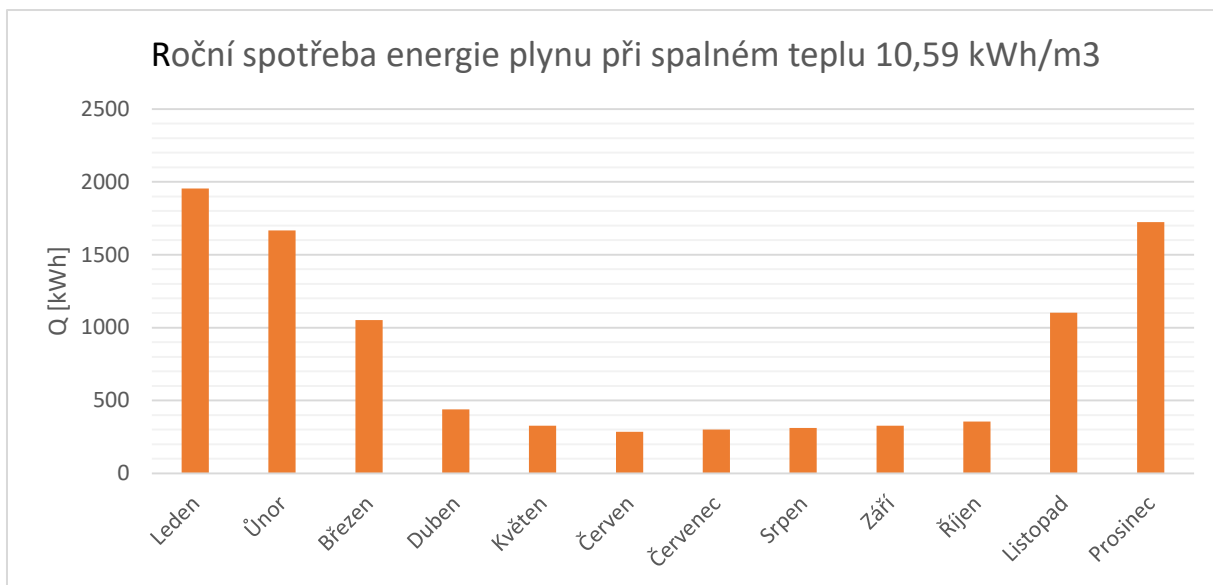
V našem rodinném domě je vytápění a ohřev vody řešen za použití plynu. Analýza spotřeby a dodávky plynu do RD je tedy nutná z důvodu proměnlivé výroby energie fotovoltaické elektrárny a času výroby, která dosahuje maxim právě v časech, kdy obyvatelé nepobývají v domě. Je zde tedy předpoklad, že ne všechna vyrobená elektrická energie z FVE bude okamžitě spotřebována. Z důvodu velmi nízkých výkupních cen elektřiny zpět do distribuční sítě, které se pohybují maximálně kolem 0,5 Kč/kWh, je zapotřebí docílit maximálního využití okamžitých přebytků elektrické energie z FVE přímo v místě výroby a tím i nejvyššího výnosu z jejího provozu. V dnešní době existuje široké spektrum možností, jak s okamžitými přebytky elektrické energie nakládat. Mezi nejrozšířenější možnosti využívání přebytků energie, které se dají dodatečně zakomponovat do postaveného RD patří např. ohřev teplé vody v akumulační nádrži, vytápění, decentralizovaná klimatizace objektu, filtrace či vytápění bazénů. Právě tyto možnosti mě budou při variantním návrhu FV systému zajímat. Případně se nechá také energie akumulovat do baterií, ty však nebudou v mé práci zahrnuty. Existují ale také jiné možnosti, ty se však využívají v nově postavených nízkoenergetických a pasivních domech, které již v návrhu počítají s FV systémem a jeho kooperací se systémy jako např. rekuperační větrání, centrální klimatizace nebo

využití tepelného čerpadla. Pro co nejpřesnější budoucí náhled na porovnání úspor energií a financí z provozu FVE jsem kontaktoval našeho stávajícího dodavatele zemního plynu, kterým je Innogy Energie s.r.o. a vyžádal si přepracování nabídky kalkulace roční platby za dodávku plynu k datu 9. 3. 2017. Zpracovaná nabídka je optimalizována na míru požadavkům našeho RD, dle výše roční spotřeby za poslední tři roky, která činí 10MWh a je k nahlédnutí jako příloha 1. Z přesných odečtů z plynoměru v domě za rok 2016 jsem sestavil tabulku odběrů plynu za jednotlivé měsíce a také jejich denní průměry. Přepočet plynu z objemu v m³ na energii v kWh jsem realizoval za využití informace přímo od dodavatele o spalném teple plynu, které činí 10,59kWh/m³.

měsíc	odebírané množství plynu RD v tarifu Benefit+				složení výsledné ceny za plyn v Kč vč. DPH		
	plyn [m ³]	m ³ /den	teplo [kWh]	kWh/den	platba za odebraný plyn v Kč vč. DPH	stálý měsíční plat v Kč vč. DPH	platba za služby distribuční soustavy
leden	185,17	5,97	1954	63,02	1786,13	180,3	363,6
únor	158,06	5,64	1668	59,55	1524,62	180,3	363,6
březen	99,78	3,22	1053	33,96	962,47	180,3	363,6
duben	41,51	1,38	438	14,60	400,42	180,3	363,6
květen	31,03	1,00	327	10,56	299,28	180,3	363,6
červen	27,02	0,90	285	9,50	260,65	180,3	363,6
červenec	28,39	0,92	300	9,66	273,85	180,3	363,6
srpen	29,60	0,95	312	10,07	285,52	180,3	363,6
září	30,99	1,03	327	10,90	298,93	180,3	363,6
říjen	33,60	1,08	354	11,43	324,08	180,3	363,6
listopad	104,44	3,48	1102	36,73	1007,37	180,3	363,6
prosinec	163,36	5,27	1723	55,59	1575,70	180,3	363,6
celkem/rok	932,94		9842,52		8999,01	2163,5	4363,26
					15525,75 Kč vč. DPH		

Tabulka 5 – Reálná spotřeba a výsledná cena za odebraný plyn

Náš RD se jeví ve spotřebě plynu v porovnání s průměrnými spotřebami jiných RD, které využívají plyn pro ohřev teplé vody a k vytápění, jejichž roční spotřeba je zhruba 20 MWh jako velmi energeticky úsporný. Tento jev je zapříčiněn velmi dobrými tepelně izolačními vlastnostmi našeho domu a kratším topným obdobím v roce, které můžeme stanovit z tabulky 5 na období listopad až začátek dubna. Délka otopného období v našem případě vychází zhruba 160 dnů na rok, oproti průměrnému počtu 219 otopných dnů v lokalitě Čáslav určených dle kalkulačky Výpočet denostupňů z portálu TZB.info. Zkrácené otopné období je způsobeno přitápěním křbovými kamny se zabudovanými výtopnými průduchy v RD. Křbová kamna se využívají nejvíce právě v jarních a podzimních měsících, kdy jsou schopny ještě dům dostatečně vytopit.



Graf 3 - Průběh spotřeby plynu během roku

4.2.1. Současný způsob vytápění a ohřev TUV v RD

Momentálně je v domě pro vytápění a ohřev TUV využíván stacionární plynový kondenzační kotel značky BAXI NUVOLA 3 COMFORT HT 240. Veškeré technické parametry jsou k nahlédnutí v příloze 2. Pro účinnost kotlů platí, že dle směrnice Rady 92/42/EHS z 21. května 1992 o požadavcích na činnost nových teplovodních kotlů na kapalná nebo plynná paliva: „mohou členské státy zavést specifický systém značení udávající stupeň dosažené účinnosti, rovné předepsané hodnotě či vyšší, počtem hvězdiček na štítku, který ke kotli připojuje výrobce nebo jeho zplnomocněný zástupce.“ V naší domácnosti využívaný kotel získal dle tohoto systému označení ****.

Štítek	Požadovaná účinnost při jmenovitém výkonu P_n a při průměrné teplotě vody 70°C [%]	Požadovaná účinnost při částečném zatížení 0,3 P_n a při průměrné teplotě vody $\geq 50^\circ\text{C}$ [%]
★	$\geq 84 + 2 \log P_n$	$\geq 80 + 3 \log P_n$
★★	$\geq 87 + 2 \log P_n$	$\geq 83 + 3 \log P_n$
★★★	$\geq 90 + 2 \log P_n$	$\geq 86 + 3 \log P_n$
★★★★	$\geq 93 + 2 \log P_n$	$\geq 89 + 3 \log P_n$

Tabulka 6 - Značení účinnosti dle směrnice Rady 92/42/EHS

Jmenovitý výkon kotle pro ohřev TUV $P_n = 24\text{kW}$. Z této hodnoty vypočteme procentuální účinnost podle rovnice, které náleží označení **** v tabulce 6.

Účinnost kotle NUVOLA3 Comfort HT 240 při jmen. výkonu a průměrné teplotě vody 70 °C:

$$\eta \geq 93 + 2 \log P_n$$

$$\eta \geq 93 + 2 \log 24$$

$$\eta \geq 96,94 \%$$

Účinnost kotle NUVOLA3 Comfort HT 240 při částečném výkonu a průměrné teplotě vody 50 °C:

$$\eta \geq 89 + 3 \log P_n$$

$$\eta \geq 89 + 23 \log 24$$

$$\eta \geq 94,92 \%$$

4.2.2. Průměrná spotřeba TUV v RD

Zjištění průměrné denní spotřeby TUV je důležité z hlediska typu navrhovaného a použitého typu FV systému, který pracuje s ohřevem TUV. Výpočet denního objemu spotřeby TUV orientačně stanovím ze vztahu dle nové harmonizované normy **ČSN EN 15316-3-1**.

$$V_{W,day} = 0,001 * V_{W,f,day} * f \text{ [m}^3\text{/den]} \quad (9.)$$

kde $V_{W,f,day}$ [l/obyvatel a den] *specifická spotřeba teplé vody*
 f [obyvatel] *počet měrných jednotek*

Specifická spotřeba teplé vody na obyvatele a den se v rodinných domech pohybuje v rozmezí 40 až 50 litru na osobu a den. V naší domácnosti je spotřeba teplé vody nižší, pro výpočet zvolím hodnotu $V_{W,f,day} = 40$ a koeficient $f = 4$. Po dosažení hodnot vychází denní objem spotřeby TUV pro náš RD **$V_{W,day} = 0,16 \text{ m}^3\text{/den}$ tedy 160l/ den.**

4.2.3. Denní potřeba tepla pro ohřev TUV

Z objemu spotřeby TUV v RD, která byla spočítána v předchozí kapitole, můžeme spočítat potřebné teplo pro ohřev tohoto množství potřebné vody. ČVUT fakulta stavební Katedra technických zařízení budov. [20]

$$Q_{TUV,d} = \rho * c * V_{2P} * (t_2 - t_1) * (1 + z) / 3600 \quad (10.)$$

kde $Q_{TUV,d}$ *denní potřeba tepla pro přípravu TV* [Wh,den]
 ρ *měrná hmotnost vody* [$\sim 1000 \text{ kg/m}^3$]
 c *měrná tepelná kapacita vody* [4186 J/kg.K]
 V_{2P} *denní potřeba vody pro přípravu TV* [$\text{m}^3\text{/den}$]
 t_2 *teplota ohřáté vody* [$\sim 55 \text{ }^\circ\text{C}$]
 t_1 *teplota studené vody* [$\sim 10 \text{ }^\circ\text{C}$]
 z *tepelné ztráty při ohřevu a distribuci (0,5 až 1)** [-]
 $*$ *pro nové úsporné RD až $z=0,3$*

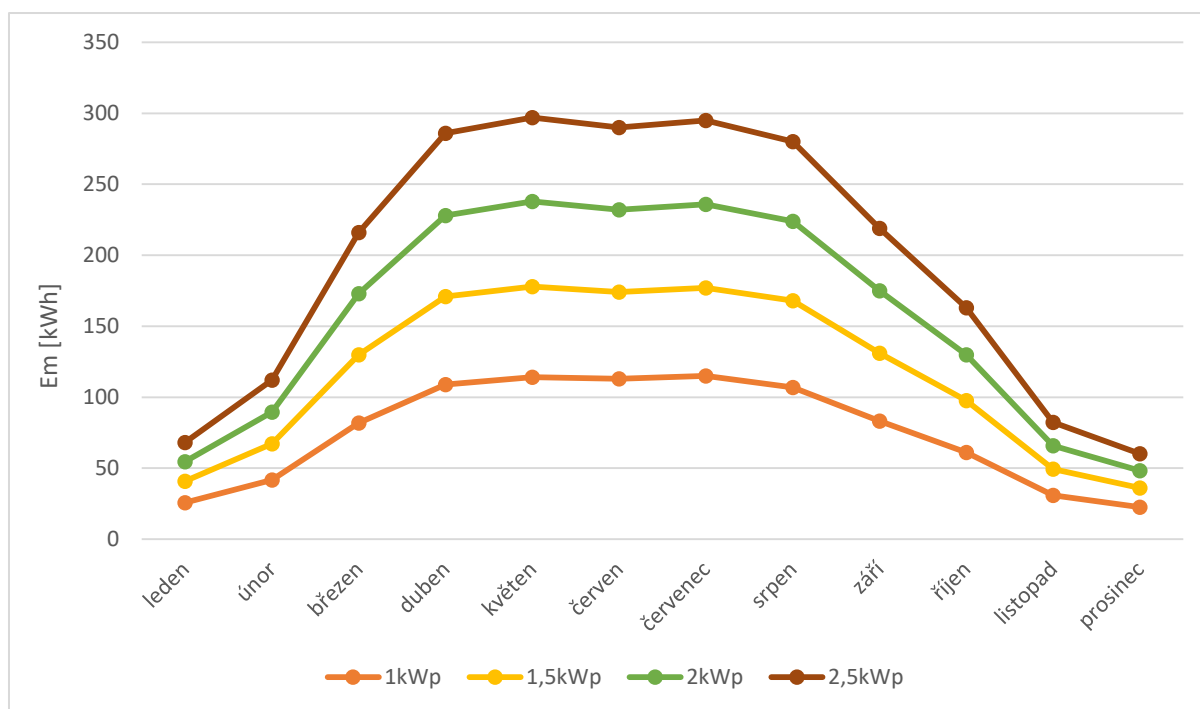
Průměrné denní potřebné teplo pro přípravu TUV při dosazených hodnotách $V_{2p} = 0,16 \text{ m}^3/\text{den}$ a $z = 0,5$ je **11,78kWh/ den**. Při využití součinitele zohledňující snížení spotřeby TUV v létě, jehož hodnota je 0,8, dostaneme výsledek **9,42kWh/ den**. Při srovnání těchto vypočtených výsledků s reálnými údaji o denní spotřebě plynu z tabulky 5 v letních měsících červen, červenec a srpen, jejichž společná průměrná denní spotřeba je **9,74kWh/den**. Po aplikování vypočtené účinnosti plynového kotle 96,94 %, nám vyjde hodnota tepla pro ohřev TUV **9,44 kWh/den**. Z těchto dvou vypočtených hodnot můžeme metodu výpočtu potřebného tepla dle normy stanovit za velice přesnou. Potvrdili jsme si tedy teoretickým výpočtem reálnou spotřebu tepla pro ohřev vody.

5. Dimenzování FVE

Při návrhu FVE nás bude zajímat, kolik elektrické energie je schopna reálně vyrobit. Produkce elektrické energie je závislá na intenzitě slunečního záření a na celkovém instalovaném výkonu FV panelů dané elektrárny. Informace nesoucí údaje ohledně intenzity dopadajícího slunečního záření a celkové vyrobené elektrické energie můžeme před výstavbou FVE zjistit z programů, které pracují na základě dlouhodobých klimatických průměrů, dle zadaných souřadnic, sklonu střechy a azimutu. V mé práci využiji program PVGIS, do kterého jsem zadal údaje o našem RD. Informace o RD byly popsány v kapitole 4. Popis rodinného domu. Pro orientační účel k dimenzování FVE na RD jsem zvolil FVE se špičkovými výkony 1kWp, 1,5kWp, 2kWp a 2,5kWp. Hodnoty jsou pro přehlednost znázorněny v grafu 4. [21]

výkon	1kWp		1,5kWp		2kWp		2,5kWp	
	Ed [kWh]	Em [kWh]	Ed [kWh]	Em [kWh]	Ed [kWh]	Em [kWh]	Ed [kWh]	Em [kWh]
leden	0,83	25,6	1,32	40,9	1,76	54,5	2,2	68,1
únor	1,49	41,8	2,4	67,1	3,2	89,5	3,99	112
březen	2,64	81,9	4,19	130	5,58	173	6,97	216
duben	3,62	109	5,7	171	7,62	228	9,52	286
květen	3,69	114	5,74	178	7,67	238	9,59	297
červen	3,76	113	5,8	174	7,74	232	9,68	290
červenec	3,7	115	5,71	177	7,62	236	9,52	295
srpen	3,46	107	5,42	168	7,22	224	9,03	280
září	2,77	83,1	4,37	131	5,84	175	7,3	219
říjen	1,97	61	3,15	97,7	4,2	130	5,25	163
listopad	1,03	30,8	1,65	49,4	2,19	65,8	2,74	82,3
prosinec	0,73	22,5	1,16	36,1	1,55	48,2	1,94	60,2
průměr	2,48	75,4	3,88	104	5,19	158	6,49	197
celkem /rok [kWh]	904,7		1420,2		1894		2368,6	

Tabulka 7- Průměrná vyrobená el. energie FVE několika špičkových výkonů



Graf 4 - Průměrné měsíční hodnoty výroby Em

6. Legislativa

V této kapitole analyzuji současný legislativní stav pro výstavbu a provoz malých fotovoltaických elektráren. Do této kapitoly zařadím také téma podpory fotovoltaiky v ČR, tedy program Ministerstva životního prostředí Nová zelená úsporám.

6.1. Současný legislativní stav v ČR v oblasti malých FVE

Na rodinný dům bude umístěna fotovoltaická elektrárna s instalovaným výkonem pravděpodobně v rozmezí 1-2 kWp. Naše FVE se bude řadit do oblasti tzv. mikrozdrojů. Tato oblast zahrnuje malé FVE s maximálním instalovaným výkonem, který nepřevyšuje hodnotu 10kWp. Od 1. 1. 2016 není provoz malých fotovoltaických elektráren do 10kWp považován za podnikání dle Energetického zákona Zákon č. 91/2005 Sb. Provoz malých FVE není již nadále vázán licenci, kterou bylo v minulosti nutno získat od Energetického regulačního úřadu. S těmito skutečnostmi odpadají při provozování FVE také související povinnosti a to, že provozovatel již nemusí být veden pro účely provozu FVE jako osoba samostatně výdělečně činná a nemusí tedy platit sociální a zdravotní pojištění. Pro provozování FVE s výkonem nad 10kWp však i nadále platí povinnost získání licence od ERÚ. Dne 3. 3. 2016 bylo také schváleno tzv. daňové zvýhodnění pro provozovatele malých FVE s výkonem do 10kWp. Nyní je příjem z provozu FVE do 30 000 Kč ročně považován za ostatní příjmy dle §10 Zákona o dani z příjmu.

6.2. Podpora fotovoltaiky v České republice

V minulosti byla podpora výroby energie z fotovoltaiky podporována formou garantované výkupní ceny elektřiny a tzv. Zeleného bonusu. Zmíněná podpora garantované výkupní ceny spočívá v tom, že ERÚ stanovil pevnou výkupní cenu při uvádění nové FVE do provozu, za kterou byl distributor nucen veškerou vyrobenou elektřinu vykupovat. Naopak dotace formou Zelených bonusů je peněžní bonus, který je vyplácen na vyrobenou elektřinu z FVE. U této dotační varianty se bonus vyplácí jak pro elektřinu dodanou do sítě, tak pro elektřinu spotřebovanou přímo v místě výroby. Obě tyto varianty podpory výroby elektřiny z FVE byly v roce 2014 zrušeny a není o ně již možno žádat.

6.2.1. Nová zelená úsporám

V současnosti lze využít dotace z programu Nová zelená úsporám (NZÚ). NZÚ je program Ministerstva životního prostředí, administrovaný Státním fondem životního prostředí ČR, který: *„podporuje energeticky úsporné rekonstrukce rodinných domů a bytových domů, výměnu nevyhovujících zdrojů na vytápění a využívání obnovitelných zdrojů energie“*. [24] Program NZÚ zahájil příjem prvních žádostí dne 22. 10. 2015 a plánované ukončení příjmu žádostí je stanoveno na 31. 12. 2021. Finanční prostředky na tento program získala Česká republika prodejem tzv. emisních povolenek EUA a jeho financování probíhá přes státní rozpočet ČR.

Program NZÚ v sobě skrývá několik podprogramů. Zaměřím se na získání dotací v podprogramu rodinných domů. Tento podprogram nabízí získání dotací ve třech oblastech:

- A. Snižování energetické náročnosti stávajících rodinných domů
- B. Výstavba rodinných domů s velmi nízkou energetickou náročností
- C. Efektivní využití zdrojů energie

Bude nás zajímat oblast poslední, tedy efektivní využití zdrojů energie, kam spadá také dotace na instalaci solárních termických a fotovoltaických systémů. V mé práci se zaměřím na systémy, které pracují s ohřevem teplé vody. Na tyto systémy se vypisují dotace ve dvou podoblastech, dle typu ohřevu a parametrů výsledného FV systému. Jedná se o **FV systém pro přípravu teplé vody s přímým ohřevem**, na který je možno získat podporu ve výši 35 000 Kč za předpokladu splnění požadavků pro daný systém. Požadavky jsou následující: dosažení minimálního pokrytí potřeby teplé vody ve výši **50 %** nebo více a instalovaný akumulční zásobník tepla o měrném objemu minimálně **80 l/1kWp** instalovaného výkonu FVE.

Další podporovaný systém, který pracuje s ohřevem teplé vody je **FV systém bez akumulace elektrické energie s tepelným využitím přebytků**. Na tento systém je možno získat podporu ve výši 55 000 Kč za předpokladu splnění následujících požadavků: celkový využitelný energetický zisk v budově je minimálně **≥ 1 700 kWh/rok**, minimální míra využití vyrobené elektřiny v místě výroby je **70 %**, povinná akumulace přebytků energie do teplé vody a minimální měrný objem zásobníku teplé vody nebo akumulární nádrže je **120 litrů**. [25]

7. Variantní návrh FV systémů

V předchozích kapitolách jsem provedl analýzu spotřeby plynu pro ohřev teplé užitkové vody daného objektu. Dále byly zjištěny momentální možnosti a podmínky pro čerpání dotačních programů právě pro FV systémy, které pracují s ohřevem teplé vody. Cílem této kapitoly bude tedy provést výběr vhodných a dostupných variant těchto FV systémů a optimalizovat je pro požadavky analyzovaného objektu, aby byly ekonomicky rentabilní.

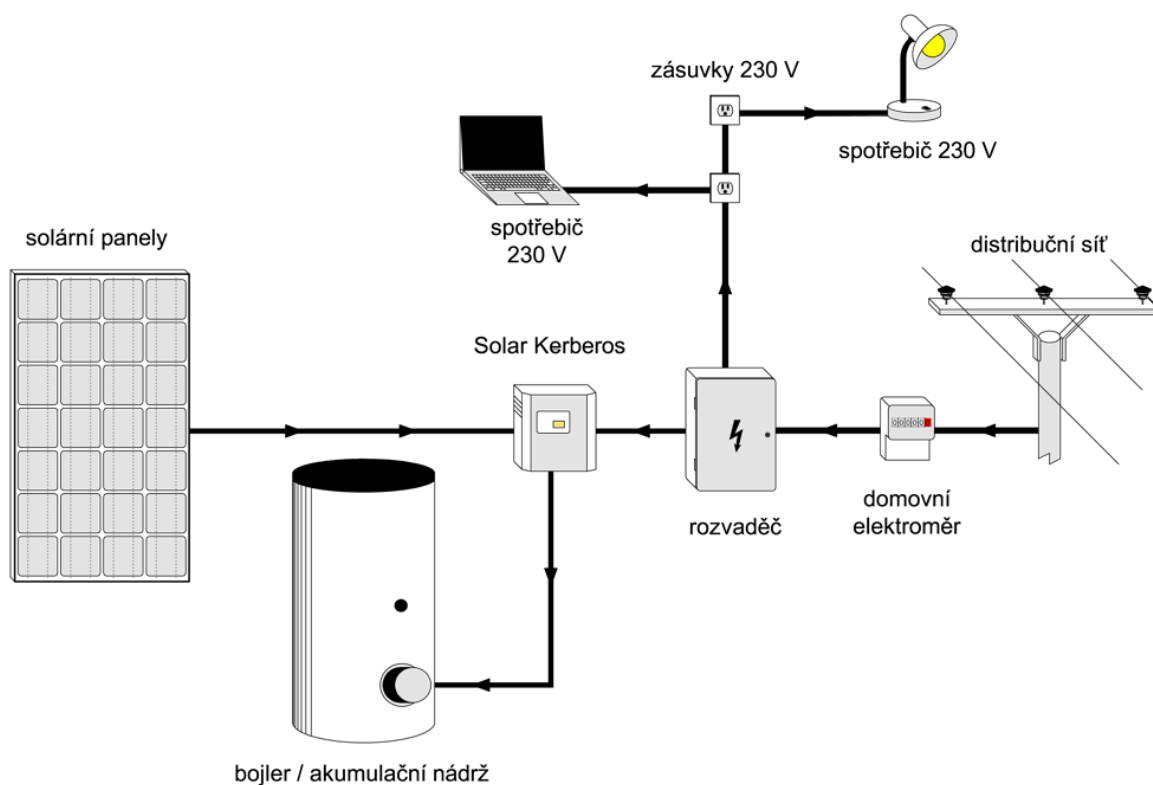
7.1. FV systém pro přímý ohřev TUV

V současné době je na českém trhu již několik systémů pro přímý ohřev teplé užitkové vody. Systémy se od sebe liší způsobem zapojení, obsahem regulátorů, MPPT trackeru a zdali dokáží kombinovat elektřinu ze solárních panelů a distribuční sítě pro ohřev vody v akumulátoru. Jako dva nejčastěji využívané systémy současnosti od českých výrobců můžeme označit fotovoltaický systém využívající regulátor **SOLAR KERBEROS** a fotovoltaický ohřev vody **DZ Dražice Logitex**.

SOLAR KERBEROS je automatická řídicí jednotka, též DC/DC měnič se zabudovaným sledováním maximálního bodu výkonu, který maximalizuje využití generované elektrické energie z FV panelů. Tento regulátor nabízí také funkci kombinace ohřevu za pomoci elektrické energie z FVE a elektřiny z elektrické sítě při případném nedostatku výroby FVE. Není zde tedy zapotřebí bivalentního (vícespirálového) bojleru. SOLAR KERBEROS může být také připojen k libovolnému topnému tělesu s výkonem v rozmezí 2-3 kW. Nabízí se zde také možnost doplnění o akumulátor nebo DC/AC měnič pro další využití případných přebytků. Produktové řady se vyrábí ve třech variantách dle maximálního výkonu a to: 1,5 kWp, 2 kWp a 6 kWp. [26]

Fotovoltaický ohřev DZ Dražice Logitex nabízí ohřev vody buďto s využitím závěsných nebo stacionárních ohřivačů. Stacionární ohřivače jsou dimenzovány spíše pro větší objekty a vyrábí se v objemech od 160 do 500 litrů. Naopak systémy se závěsnými ohřivači jsou přednostně určeny pro rodinné domy a vyrábí se v objemech od 100 do 200 litrů, což je pro naše použití dostačující. Tyto

systemy nabízejí řešení buď jako přehřev TUV anebo přímý ohřev TUV. Přímý ohřev vody je realizován ohřivačem vody LX ACDC/M. Ten pracuje na principu dvou samostatných okruhů pro ohřev vody, jeden pro energii z FVE a druhý pro energii z elektrické sítě. V ohřivači jsou tedy zabudovány dvě samostatné spirály. Součástí těchto systémů je také LXDC SET 1-2 kW, který zajišťuje bezpečnost celého systému díky možnému odpojení od distribuční sítě či přesměrování energie z FV panelů. Je zde také možnost doplnit celý systém o LXDC POWER BOX 1-2 kW, který pracuje jako MPPT tracker. [27] Oba dva výše popsané systémy jsou vhodné pro uvažovanou aplikaci s maximálním výkonem 2kWp, ale osobně zvolím variantu SOLAR KERBEROS, která má přímo v měniči již zabudován MPP tracker a je plně autonomní, funguje tedy i při výpadku sítě. Schématické zapojení systému využívající řídicí jednotku SOLAR KERBEROS je na obrázku 13.



Obrázek 13 - Ohřev vody systémem SOLAR KERBEROS [28]

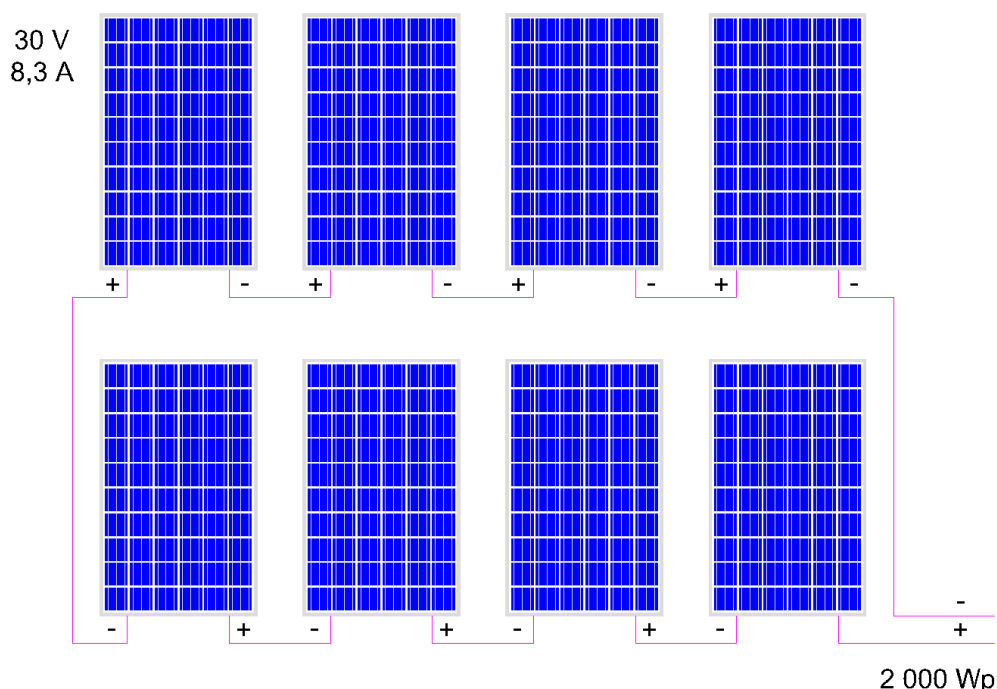
7.1.1. Návrh systému SOLAR KERBEROS

Při návrhu systému se zaměřím zejména na vhodný výběr využitých panelů a objemu akumulaci nádrže/bojleru. Pro získání dotace z programu NZU musí využitá FV panely v systému splňovat minimální požadavky. Požadavky pro zvolený FV panel jsou uvedeny v tabulce 8, kde jsem rovnou provedl porovnání s FV panelem BENQ 255WP POLY, který byl analyzován v kapitole 3.1.4. v tabulce 1- Porovnání parametrů FV panelů. Tento panel, jak je vidět z tabulky 8, splňuje všechny požadavky.

parametr		BENQ 255WP POLY
napětí	30 V ± 10%	30,8 V
proud	8,3 A ± 5%	8,28 A
výkon	min. 250 Wp	255 Wp
účinnost	min. 15%	15,80%

Tabulka 8 - Požadavky na parametry FV panelu

Pro objem bojleru/akumulační nádrže už z kapitoly 7.1. Nová zelená úsporám víme, že jeho objem musí být minimálně 80 litrů na 1 kWp výkonu instalované elektrárny. V kapitole 4.2.2. Průměrnou spotřebu TUV v RD jsem vypočetl tak, že je během dne zapotřebí 160 litrů teplé vody. Do systému tedy aplikujeme bojler o objemu 160 litrů. Díky využití jednotky SOLAR KERBEROS je možné využít klasický elektrický bojler s topným tělesem o příkonu 2-3 kW. Po průzkumu trhu jsem se rozhodl zvolit elektrický bojler OKCE 160 od tradičního českého výrobce DZ Dražice s příkonem 2,2 kW a denní jmenovitou spotřebou elektrické energie 12,03 kWh a tepelnými ztrátami 1,23 kWh/den. [29] Výstup bojleru bude propojen s plynovým kotlem za pomoci třicestného směšovacího ventilu pro TUV, který bude zajišťovat případný dohřev vody. Objem 160 litrů odpovídá špičkovému instalovanému výkonu 2kWp. Tento výkon nám systém SOLAR KERBEROS dovoluje bez omezení nainstalovat. Jeden FV panel BENQ 255Wp Poly má špičkový výkon 255Wp. Pro dosažení požadovaného celkového instalovaného výkonu musíme zapojit 8 těchto panelů do série. Způsob zapojení je patrný na obrázku 14.



Obrázek 14 - Zapojení 8 FV panelů pro získání výkonu 2kWp [30]

Výrobce řídicích systémů SOLAR KERBEROS nabízí několik produktových řad. Ty se od sebe liší limity pro maximální vstupní napětí naprázdno a rozsahem MPP trackeru. Pro zapojení s osmi FV panely je

typicky používán produkt SOLAR KERBEROS řady 320.B. Splnění limitů řídicí jednotky SOLAR KERBEROS 320.B a navrhované FVE je potvrzeno v tabulce 9.

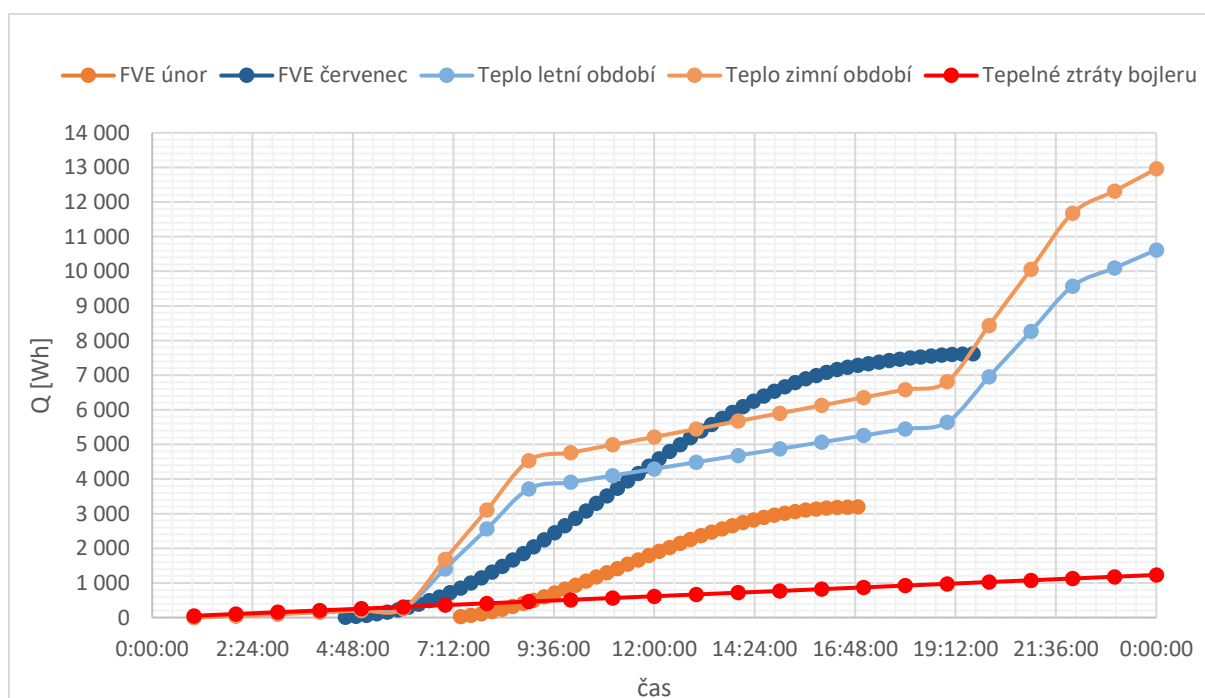
elektrické parametry - FV část	navrhovaná FVE	
vstupní napětí naprázdno	200-340 VDC	300,8 VDC
rozsah MPP trackeru	140-310 VDC	246,4 VDC
maximální proud	9 A	8,76 A

Tabulka 9 - Limity pro použitá SOLAR KERBEROS 320.B

7.1.2. Aplikace fotovoltaického systému na RD

V kapitolách 4.2.2 Průměrná spotřeba TUV v RD a 4.2.3 Denní potřeba tepla pro ohřev TUV jsem dle norem ČSN vypočetl, že je v objektu zapotřebí 160 litrů teplé vody za den. Potřebné teplo pro ohřev tohoto objemu vody z 10 °C na 55°C je při ztrátách během ohřevu a distribuci 50 % a ztrátách bojleru je hodnota potřebného tepla v zimních obdobích 12,96 kWh za den. V letním období je snížený odběr TUV v objektu představován činitelem snížení o hodnotě 0,8, tzn. že v letních obdobích je potřebná energie nižší o 20 %, tedy 10,62 kWh za den. Z těchto hodnot odebíraného tepla jsem dle normy ČSN EN 15316-3 sestrojil grafy časového rozložení odběru tepla během dne. Časové rozložení odběru tepla během dne bylo tedy uvažováno následovně [31]:

- od 6 do 9 hodin = 35 % z celkového množství TV
- od 9 do 19 hodin = 15 % z celkového množství TV
- od 19 do 22 hodin = 40 % z celkového množství TV
- od 22 do 24 hodin = 10 % z celkového množství TV

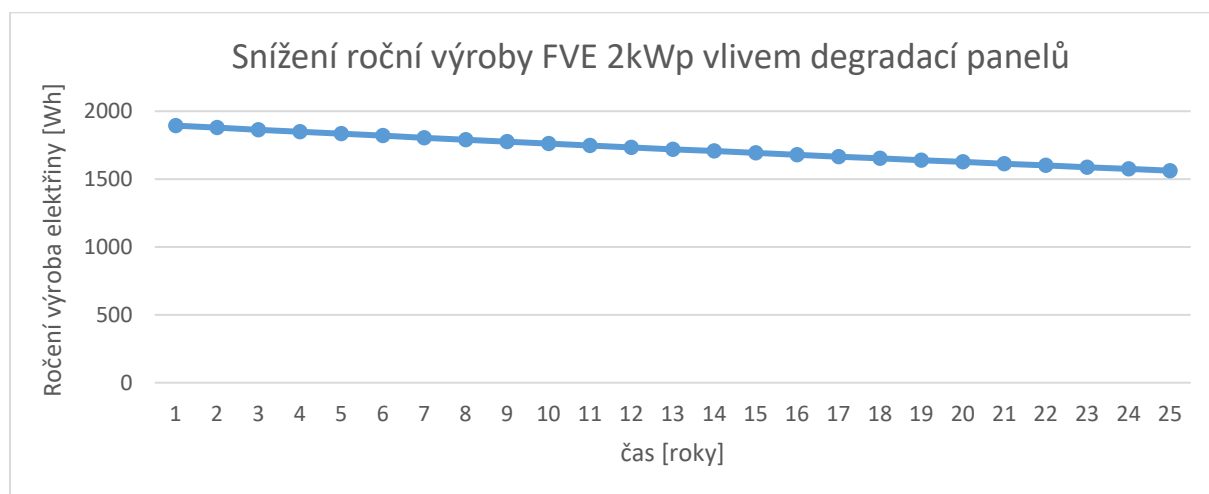


Graf 5 - Rozložení potřeby a výroby tepla během dne

Do Grafu 5. jsem mimo průběhu spotřeby tepla během dne zahrnul také kumulovanou výrobu energie z fotovoltaiky v měsíci únor, červenec a tepelné ztráty bojleru, které činí 0,93 kWh/den. Průběhy kumulované výroby pro FVE o instalovaném špičkovém výkonu 2kWp jsem sestavil dle časů dopadající sluneční energie ve W/m². Vstupní data jsem získal z již dříve zmíněného geografického programu PVGISu. Z grafu je patrné, že fotovoltaika nebude sama o sobě stačit pro ohřev TUV jak v letním, tak v zimním období. Rozdíl tepla bude kompenzován ohřevem za pomoci propojeného stávajícího plynového kotle v objektu k nově instalovanému bojleru. V měsíci únoru bude zapotřebí plynového dohřevu z kotle ve výši **9,585 kWh/den** při uvažovaných tepelných ztrátách 1,23 kWh/den v bojleru. V červenci bude potřeba dohřevu za pomoci plynu znatelně menší, a to pouze v hodnotě **2,98 kWh/den**. Pro dohřev jsem zvolil plynový kotel, jelikož variabilní složka ceny plynu činí 0,9143 Kč/kWh. Cena elektřiny v nízkém tarifu se pohybuje okolo 1,35 Kč/kWh. Dalším důvodem bylo, že stávající plynový kotel je zánovní a plně funkční a chtěl jsem ho do systému zakomponovat a dále ho využívat.

7.1.3. Zohlednění degradace FV panelů

Pro co nejreálnější výsledky zahrnuji do svých výpočtů veškeré tepelné ztráty, které vznikají jak při distribuci, tak ohřevu TUV. Jelikož se doba životnosti instalované fotovoltaické elektrárny pohybuje okolo 25 let, do svých výpočtů jsem také pro přesnost zahrnul pokles účinnosti fotovoltaické přeměny vlivem degradace FV panelů. FV panely BENQ POLY 255 Wp, které jsem vybral pro instalovaný systém, mají dle výrobce garantovaný pokles výkonu na 80 % počáteční hodnoty výkonu po 25 letech. Výkon by měl tedy meziročně klesnout maximálně o 0,8 %. Právě tento meziroční pokles výroby FVE je tedy obsažen v mých výpočtech. Náhled průběhu postupného snižování výkonu vlivem degradace FV panelů po dobu 25 let je názorně vidět z grafu 6.



Graf 6 - Snižování výroby FVE vlivem degradace FV panelů

7.1.4. Investiční výdaje

V předchozích kapitolách jsem provedl výběr vhodných hlavních částí FV systémů dle požadovaných parametrů a limitů. Dále jsem se zaměřil na požadavky pro získání dotace NZÚ. Po zjištění všech nutných součástí FV systému jsem jednotlivé položky ocenil dle aktuálně nabízených cen prodejců na českém trhu. Většina cen byla orientována dle prodejce obchodsolar.cz, který nabízí kromě mnou zvolených panelů kompletní potřebný sortiment. Na českém trhu působí v dnešní době již relativně velké množství firem, které nabízejí fotovoltaické elektrárny pro přímý ohřev vody tzv. na klíč. Ceny těchto systémů se pohybují v rozmezí od 65 000 Kč do 75 000 Kč vč. DPH 15 %.

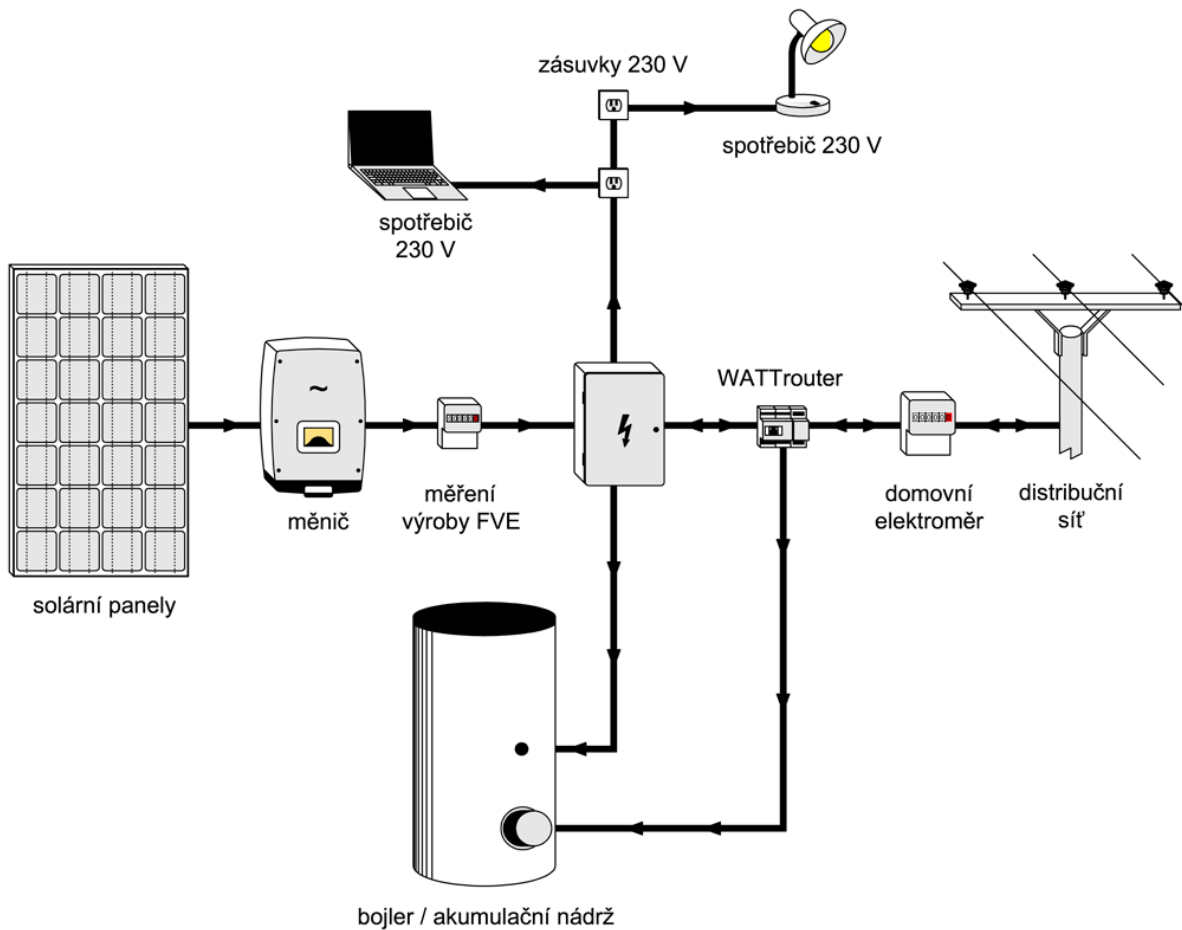
položka	ks	cena/ks bez DPH	celková cena vč. DPH 15%
Bojler OKC 160	1	8 507	9 784 Kč
SOLAR KERBEROS 320. B	1	20 758	20 758 Kč
BENQ POLY 255 Wp	8	3 719	34 215 Kč
DC rozvaděč s jištěním a přepětovou ochranou do 10 A	1	2 495	2 869 Kč
Kabeláž 2x20m 4mm ²	40	19	874 Kč
Konektor MC4 SunPulse - pár	8	90	828 Kč
Střešní konstrukce Schletter	4	1 450	6 670 Kč
Instalace a práce	1	8 000	9 200 Kč
Doprava	1	4 500	5 175 Kč
Propojení plynového kotle a bojleru	1	6 500	7 475 Kč
Odporná konzultace projektu	1	5 000	5 750 Kč
Celková cena vč. DPH 15 % pro RD			102 883 Kč

Tabulka 10 - Investiční výdaje pro FV systém přímého ohřevu vody

7.2. FV systém pro vlastní spotřebu s využitím přebytků pro ohřev TUV

Tyto systémy se od systému popsáno a navrženého v kapitole 8.1. liší tím, že vyrobená elektřina z FV panelů je dodávána do rozvodů domu a není určena prvotně pro ohřev TUV. Elektřina z FVE tedy pokrývá část vlastní spotřeby elektrické energie dle aktuální spotřeby v RD. Případné přebytky elektřiny jsou přesměrovány pomocí zařízení WATTrouter do bojleru a dochází k ohřevu teplé vody, tedy k akumulaci přebytků. Cílem těchto inteligentních systémů je spotřebovat všechnu vyrobenou elektřinu v místě výroby a předejít případným nevýhodným prodejům přetoků elektrické energie do sítě a maximalizovat tak žádoucí úspory. Na českém trhu je k dostání v dnešní době široká řada těchto systémů od různých dodavatelů nebo výrobců. Všechny systémy mají však stejnou strukturu a hlavní součásti výsledné fotovoltaické elektrárny. Hlavními součástmi těchto systémů jsou střídač, rozvaděč

a wattrouter. Schématické zapojení systémů pro vlastní spotřebu s využitím přebytků pro ohřev TUV je na obrázku 15.



Obrázek 15 - FVE s řízením vlastní spotřeby a využitím přebytků pro ohřev TUV [32]

7.2.1. Návrh systému pro vlastní spotřebu s přebytky pro ohřev TUV

Při návrhu tohoto systému se stejně jako v kapitole 7.1.1 Návrh systému SOLAR KERBEROS zaměřím zejména na požadavky pro získání dotace z programu NZÚ. Dalším důležitým krokem bude vybrat kvalitní měnič, který disponuje velmi vysokou účinností přeměny elektrické energie.

Do tohoto systému opět aplikuji FV panely BENQ 255WP POLY, které splňují veškeré technické požadavky dotačního programu NZÚ. Při návrhu tohoto systému již nejsem striktně limitován objemem bojleru 80 litrů/1kW, jelikož v Závazných pokynech pro žadatele o dotaci NZÚ na RD je uvedeno, že: „Pokud je výpočtem potřeby teplé vody a objemu vody potřebného pro akumulaci přebytků el. energie doloženo, že pro splnění ostatních podmínek postačuje objem nižší, lze navrhnout objem nádrže vyhovující tomuto výpočtu, minimálně však 120 litrů“. [33] a mohu tedy případně zvolit i vyšší

instalovaný špičkový výkon při menším objemu bojleru. Lze tedy dosáhnout optimálnější varianty aplikovaného špičkového výkonu pro daný rodinný dům s vyššími ročními úsporami. Osobně budu ale daný systém dimenzovat tak, aby nedocházelo k žádným přetokům přebytků elektrické energie z FVE do sítě.

Do těchto fotovoltaických systémů v rodinných domech lze aplikovat jak třífázové, tak jednofázové střídače. Jednofázové střídače jsou nejvhodnější pro menší aplikace, jejichž instalovaný špičkový výkon se pohybuje v rozmezí od 1,5kWp do 3kWp. Instalovaný výkon mé aplikace bude uvažován v tomto rozpětí, a proto do systému zakomponuji jednofázový střídač. Mezi nejkvalitnější měniče, které jsou na našem trhu momentálně k dostání, patří jednofázový měnič **SMA SunnyBoy 2.5 1VL**. Tento měnič nabízí jak zabudovaný MPP tracker, tak rozšířené možnosti komunikace a monitoringu prostřednictvím integrované wifi. Dle závazných požadavků pro žadatele NZÚ musí instalovaný měnič v těchto systémech dosahovat minimální euro účinnosti alespoň **94 %**. V tabulce 11 vidíme základní technické parametry použitého střídače a můžeme vidět, že tato minimální podmínka účinnosti je splněna. Dále bude do systému instalován Wattrouter M SSR, který je v současnosti nejpoužívanější regulátor pro optimalizaci vlastní spotřeby pro objekty s FVE v rozsahu instalovaného výkonu 1kWp až 20kWp.

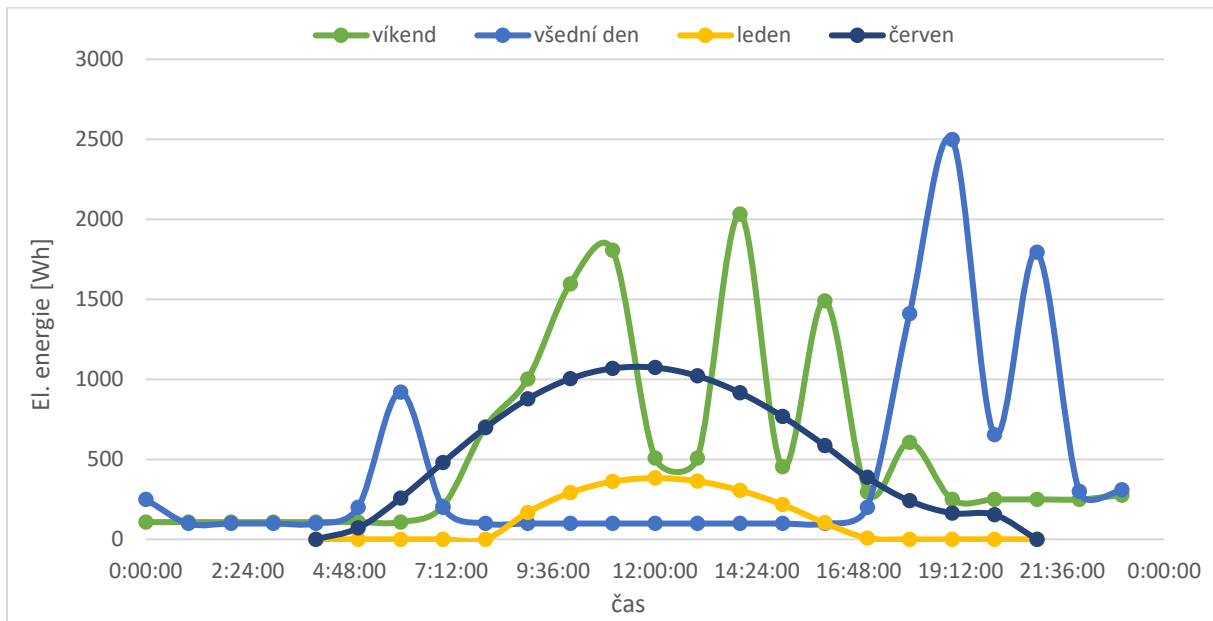
SMA SunnyBoy 2.5 1VL	
Jmenovitý výkon při 230 V, 50 Hz	2500 W
Maximální účinnost	97,2 %
Evropská účinnost měniče	96,7 %
Jmenovitá síťová frekvence	50 Hz
Jmenovité síťové napětí	230 V
Maximální vstupní napětí	600 V
Maximální vstupní proud	10 A
Maximální výstupní proud	11 A
Rozsah síťové frekvence AC	50 Hz±5 Hz
Rozsah jmen. AC napětí	180 V - 280 V

Tabulka 11 - Technické parametry měniče SunnyBoy 2.5 [34]

Systém bude instalován se špičkovým výkonem 2,5kWp. Tento výkon nám zajistí v objektu dostatečné pokrytí vlastní spotřeby elektrické energie a také značné úspory ohřevu TUV. Vyšší instalovaný výkon by byl pro náš objekt již nevýhodný, jelikož naše denní spotřeba elektrické energie nedosahuje hodnot, které by byly pro vyšší výkony žádoucí. Pro přebytky elektrické energie bude v systému umístěn bojler pro TUV o objemu 160 litrů. Typ bojleru zvolím stejný jako v systému pro přímý ohřev vody, tedy elektrický bojler OKCE 160 DZ Dražice. Bojler bude opět fyzicky propojen se stávajícím plynovým kotlem v domě za pomoci směšovacího třicestného ventilu pro případný dohřev TUV.

7.2.2. Aplikace fotovoltaického systému na RD

V kapitole 4.1.1. **Denní diagram spotřeby elektrické energie v RD** jsem dle reálných hodnot příkonů a časů využívání hlavních elektrických spotřebičů sestrojil denní diagram spotřeby pro všední dny a víkend. Podle tohoto diagramu dosahuje spotřeba v objektu během všedních dní **9,82kWh** a o víkendech **12,05kWh**. Z odečtů elektroměru v RD viz kapitola 4.1 bylo zjištěno, že odběr elektrické energie v zimních měsících stoupá. Do výpočtového modelu jsem proto zařadil během zimního období denní spotřebu ve všední den **10,01 kWh** a o víkendu **13,23 kWh**. Tyto hodnoty a průběhy spotřeby elektřiny během dne jsem porovnal s denním průběhem výroby FVE o výkonu 2,5kWp. Porovnání je znázorněno v grafu 7 a je z něho patrné, že v měsíci lednu nebude během víkendových dnů žádný přebytek elektrické energie pro ohřev TUV. Naopak v měsíci červnu bude vždy značný přebytek vyrobené elektřiny pro ohřev TUV v bojleru, a to zejména ve všedních dnech.



Graf 7 - Porovnání výroby FVE a spotřeby elektřiny během dne

V mém modelu počítám po celou dobu životnosti FVE elektrárny, což je 25 let, s výše uvedeným denním diagramem a s příslušnými rozdíly ve výrobě FVE a spotřebě v objektu. Ve skutečnosti je však velmi nepravděpodobné, že by po celou dobu 25 let zůstal průběh denního diagramu spotřeby elektrické energie totožný. Zejména z důvodu, že stávající obyvatelé rodinného domu dospějí zhruba v polovině doby životnosti FVE do důchodového věku a budou trávit mnohem více času v objektu zejména během všedních dní. Tato situace zapříčiní zvýšení spotřeby a rovnoměrněji rozložený rozloží odběr elektrické energie v průběhu dne. Podle mého názoru hlavním důsledkem této změny by bylo zvýšení pokrytí vlastní spotřeby výrobou z FVE a tedy i zvýšení úspor, jelikož by se uspořilo více dražší elektřiny než levnějšího plynu, který ohřívá TUV-

Při porovnávání hodnot spotřeby a výroby FVE po hodinách během dne jsem zjistil hodnoty průměrných přebytků vyrobené elektrické energie v jednotlivých měsících. Do porovnání jsem pro přesnost zahrnul opět sníženou spotřebu TUV během letních měsíců tedy 9,44 kWh/den a v zimních měsících 11,78kWh/den. Hodnoty jednotlivých přebytků elektrické energie jsou uvedeny v tabulce 12. Do výpočtů byla opět zahrnuta také degradace výkonu FV panelů. Jelikož jsem do systému aplikoval totožné FV panely jako u systému pro přímý ohřev, bude výkon klesat konstantním tempem 0,8 % výkonu za rok až na hodnotu 80 % počátečního výkonu instalované FVE za 25 let.

přebytek pro ohřev TUV [Wh/den]	měsíc	leden	únor	březen	duben	květen	červen
	všední den	1401	3025	5718	7947	7689	7588
	víkend	0	183	1037	1840	1888	1908
	měsíc	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
	všední den	7536	7386	5918	4232	1901	1170
	víkend	1850	1634	1082	542	0	0

Tabulka 12 - Bilance přebytků pro ohřev TUV během měsíců

7.2.3. Investiční výdaje

V kapitole 7.2.1 Návrh systému pro vlastní spotřebu s přebytky pro ohřev TUV jsem provedl výběr vhodných komponentů pro daný FV systém. Komponenty jsem vybíral tak, aby jejich technické parametry vyhovovaly instalovanému výkonu FVE a aby byly splněny veškeré podmínky pro získání dotace z programu NZÚ. Jednotlivé vybrané komponenty jsem ocenil dle aktuálních nabídek prodejců. Cenu práce, instalace a dopravy jsem ocenil dle několika nabídek na klíč, které jsou nabízeny s podobným instalovaným výkonem jako mnou navrhovaná FVE.

položka	ks	cena/ks bez DPH	celková cena vč. DPH 15%
Bojler OKCE 160	1	8 507	9 784 Kč
SMA SunnyBoy 2.5 1VL	1	21 999	25 299 Kč
BENQ POLY 255 Wp	10	3 719	42 769 Kč
Wattrouter M SSR	1	7 881	9 063 Kč
DC rozvadeč s jištěním a přepětovou ochranou do 10 A	1	2 495	2 869 Kč
Kabeláž 2x20m 4mm ²	50	19	1 093 Kč
Konektor MC4 SunPulse - pár	10	90	1 036 Kč
Střešní konstrukce Schletter	5	1 450	8 340 Kč
Připojení plynového kotle	1	6 500	7 475 Kč
Instalace a práce	1	10 000	11 500 Kč
Doprava	1	5 500	6 325 Kč
Odporná konzultace projektu	1	6 000	6 900 Kč
Celková cena vč. DPH 15% pro RD			132 452 Kč

Tabulka 13 - Investiční výdaje pro FV systém pro přímou spotřebu s přebytky pro TUV

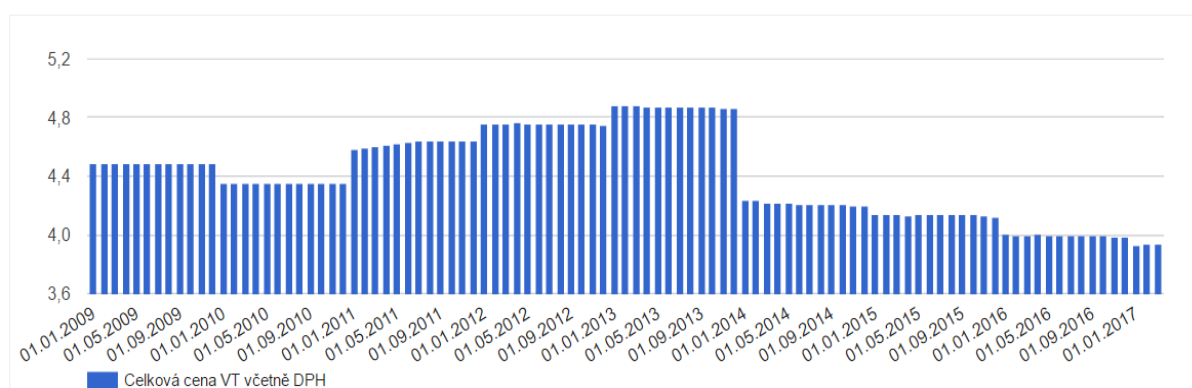
8. Budoucí prognóza vývoje cen elektřiny a zemního plynu

Budoucí prognóza vývoje cen elektrické energie a zemního plynu je velice důležitá z důvodu ekonomického vyhodnocení provozu fotovoltaického systému vůči stávající variantě. Správně odhadnout vývoj cen zmíněných paliv je však velice komplikovaný proces, jelikož jejich ceny závisí na velkém množství faktorů. Hlavní ovlivňující faktory jsou zde zejména ekonomická a politická situace, mezinárodní vztahy, dále také politika životního prostředí ve státě, cena paliv pro výrobu daných komodit na světové burze a v neposlední řadě také zákonem regulované poplatky v ceně komodity. Možnost, jak odhadnout vývoj budoucích cen, je provést historickou analýzu vývoje cen na burze nebo cen od dodavatelů. Pro potřeby posouzení provozu FVE provedu analýzu vývoje cen na budoucích 25 let, což je průměrná životnost těchto systémů.

8.1. Předpokládaný vývoj cen elektřiny

Celková cena za odebranou elektřinu je ovlivněna vývojem cen regulovaných složek elektrické energie, cen za silovou elektřinu a plateb za velikost jističe. Skládá se tedy z pevné a variabilní složky.

Celková cena elektřiny ČEZ - D02d [Kč/kWh]



Graf 8 - Historický vývoj celkové ceny elektřiny dodavatele ČEZ [22]

rok	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
celková cena [Kč/kWh]	4,482	4,354	4,603	4,758	4,884	4,236	4,142	4	3,928
meziroční změna [%]	0	-2,86	5,72	3,37	2,65	-13,27	-2,22	-3,43	-1,80

Tabulka 14 - Vývoj konečné ceny elektřiny v Kč/kWh v letech 2009-2017

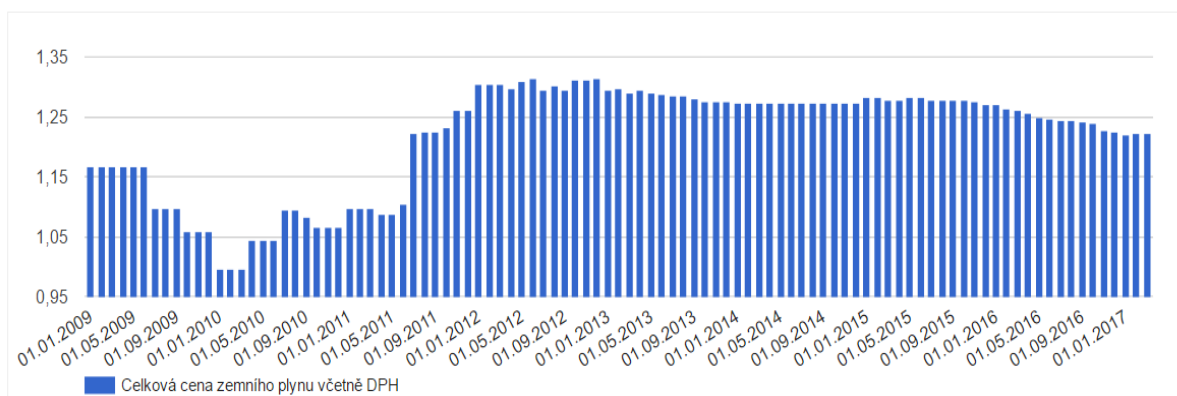
Z grafu 8, který znázorňuje historický vývoj ceny elektřiny námi využívaného tarifu D02d dodavatele elektrické energie ČEZ, můžeme vidět rostoucí trend ceny elektřiny v letech 2010 až 2013. Na přelomu roku 2013/ 2014 došlo k rapidnímu poklesu meziroční ceny elektřiny a to o **13,27** %. Od tohoto roku

až do současnosti docházela k meziročním poklesům ceny, jak je možné vidět v Tabulce 8. Z těchto historických dat by bylo možné předpokládat podobný trend i do budoucna, a tedy **meziroční pokles** cen o zhruba **2 %**. Tento předpoklad se mi však nejeví zcela reálný a dle mého názoru již nemůže do budoucna cena elektřiny dále klesat. Jako reálnější predikci budoucího vývoje cen silové elektřiny bych spíše uvažoval 2 % meziroční růst. Podobný růst by měla vykazovat meziroční inflace dle dlouhodobého plánu ČNB. Do budoucna je také jistý předpoklad, že dojde k zavedení nové tarifní struktury a došlo by k zásadním změnám ve složení tarifních poplatků.

8.2. Předpokládaný vývoj ceny zemního plynu

Vývoj cen plynu bývá z pravidla plynulý a nejsou zde patrné meziroční skoky, které se během roku téměř nemění, jako je tomu u cen elektrické energie. Výsledná cena zemního plynu závisí na aktuálním stavu naplnění zásobníků plynu a výpalcích těžby zemního plynu ve světě.

Odběr 7.56-15 MWh/rok, celková cena zemního plynu na území Česká republika [Kč/kWh]



Graf 9 - Historický vývoj průměrné celkové ceny zemního plynu [23]

rok	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
celková cena [Kč/kWh]	1,166	0,9951	1,0976	1,2615	1,2939	1,2731	1,2823	1,27	1,2198
meziroční změna [%]	0	-14,66	10,3	14,93	2,57	-1,61	0,72	-0,96	-3,95

Tabulka 15 - Vývoj konečné ceny zemního plynu v Kč/kWh v letech 2009-2017

Z Grafu 9 vidíme, že do roku 2013 byla celková cena zemního plynu během průběhů roků proměnlivá, s postupným stoupajícím trendem. Od roku 2013 se změny celkové ceny zemního plynu ustálily z důvodu obrovského nárůstu počtu produktových řad s fixní cenou za zemní plyn. Do budoucna je však velmi nepravděpodobný další pokles cen, stejně jako je tomu v případě elektřiny. Cena se v následujících letech bude spíše pomalu vzrůstat, jelikož již nebudou přibývat tarify s fixní cenou

zemního plynu. Jako predikci vývoje ceny bych zvolil opět hodnotu 2 % meziročního růstu, což je hodnota dlouhodobého inflačního cíle ČNB.

9. Ekonomické hodnocení

V této kapitole provedu ekonomické vyhodnocení provozu mnou navržených FV systému pro popsany objekt, dle jejich sestavených ekonomických modelů a vstupních parametrů. Hodnocení bude provedeno při variabilní ceně 0,9143 Kč/kWh plynu a 3,708 Kč/kWh elektřiny a jejich 2% meziročního nárůstu. Variabilní ceny byly stanoveny na základě využívaných tarifů a složení jejich ceny. Tyto vstupní parametry podrobím citlivostní analýze. Výsledkem ekonomického vyhodnocení bude určení výhodnosti prvotní investice do malých FVE a zdali je jejich provoz pro malé objekty za daných podmínek financování a dotační podpory ekonomicky rentabilní.

9.1. Zhodnocení provozu FV systémů

Vyhodnocení provozu FV systému provedu za pomoci stanovení peněžních toků během jednotlivých let neboli Cash Flow (CF). Z těchto toků během 25 let vypočítám současnou čistou hodnotu (NPV). CF se stanoví výpočtem jako rozdíl příjmů a výdajů peněžních prostředků za určité časové období.

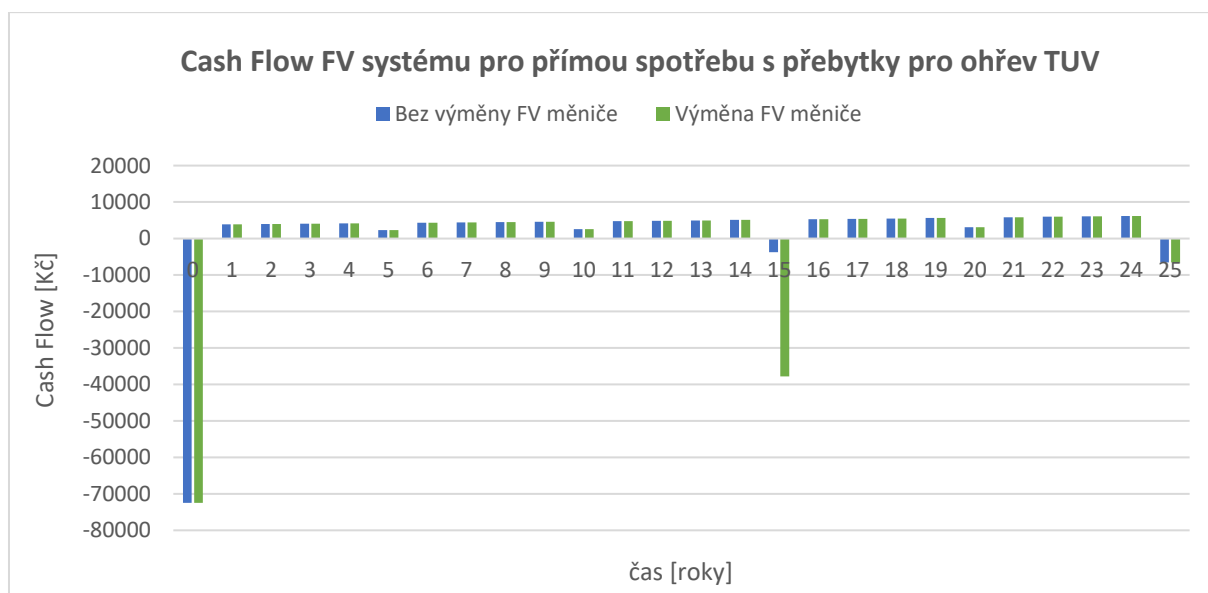
$$CF = \text{příjmy} - \text{výdaje [Kč]} \quad (11.)$$

Pro správný výpočet si jasně stanovím, co v mém případě představuje výdaje a příjmy. Mezi výdaje s jistotou zařadím počáteční investice, přičemž pořízení FVE bude plně financováno z vlastních zdrojů. Dalšími výdaji budou zajisté potřebné reinvestice během doby životnosti FVE. Jejich četnost je do budoucna těžké přesně stanovit, závisí zejména na dodržení pravidelné údržby, kvalitě využitých komponentů a době jejich životnosti. Budu předpokládat, že každý 5. rok provozu vynaložím výdaje na údržbu FVE a potřebnou revizi v současné hodnotě 1800 Kč. Reinvestice započítám u komponentů s kratší dobou životnosti, než je 25 let, mezi které zařadím u obou systémů výměnu ohříváče TUV, které mají dle jejich výrobce DZ Dražice životnost v rozmezí 15-20 let. Budu počítat s reinvesticí do ohříváče v 15. roku. Životnost u hlavních komponentů obou FV systémů, tedy řídicí jednotky SOLAR KERBEROS a FV střídače by měla být koncipována tak, aby vydržela celou dobu provozu FVE. Při pesimistické variantě se však jejich životnost může pohybovat kolem 15-20 let, do výpočtu pesimistické varianty budu počítat reinvesticí během 15. roku.

Jelikož prvotní investice do obou systémů se pohybují nad 100.000 Kč, nejedná se tedy o malou investici, a proto zřídím připojištění FVE jako součást rodinného domu. Cena pojištění FVE našich rozměrů se pohybuje v cenách okolo 400 Kč ročně. Po uplynutí doby životnosti FVE bude nutno FVE

z objektu odinstalovat a odvést k ekologické likvidaci. Cenu demontáže proto také zahrnu do nutných výdajů, a to do posledního roku životnosti. Demontáž odhadnu jako cenu práce a montáže při výstavbě tedy zhruba 8 000 Kč současné hodnoty.

Mezi příjmy mohu jednoznačně zařadit jednorázovou investiční dotaci z programu NZÚ. Výše této dotace byla analyzována v kapitole **6.2.1 Nová zelená úsporám**. Pro systém přímého ohřevu vody je dotace poskytována ve výši **35 000 Kč** a u systému pro přímou spotřebu a využití přebytků pro ohřev vody je dotace poskytována ve výši **55 000 Kč**. U obou systémů využiji příspěvek na odbornou konzultaci, posudek a zpracování technické dokumentace ve výši 5 000 Kč. Tyto příjmy budou započítány ve stejném roce jako prvotní investice. Dotace z programu NZÚ je totiž možno získat již během průběhu výstavby FVE, tedy před uvedením do provozu. Další možné příjmy z provozu FVE by byly možné za předpokladu, že bychom vyrobenou elektřinu prodávali do sítě. Oba dva FV systémy jsou však navrženy tak, aby nedocházelo k žádnému prodeji přebytků elektřiny do sítě. Provoz FVE nám však po dobu své životnosti bude snižovat množství odebírané elektřiny a plynu za rok vůči stávající variantě. Budeme tedy každoročně vykazovat menší platby za odebraný plyn a elektřinu. Tyto úspory plynoucí z provozu FVE můžeme chápat jako zvýšení finančních prostředků vůči stávající variantě po dobu životnosti FVE, tedy 25 let. Zahrnu proto tyto úspory při výpočtu Cash Flow do příjmů, i když se vlastně reálně nejedná o příjmy.

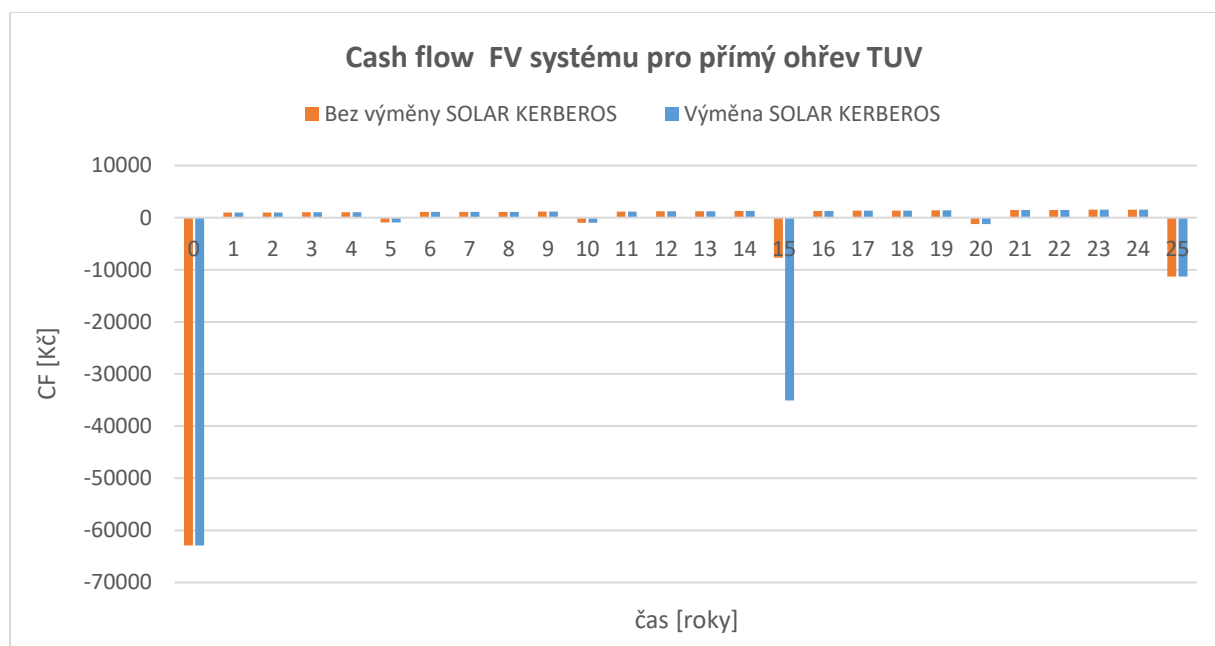


Graf 10 - CF FV systém pro přímou spotřebu a přebytky pro ohřev TUV

Rozložení jednotlivých peněžních toků během let po celou dobu životnosti FVE pro přímou spotřebu s využitím přebytků pro ohřev TUV je znázorněn v grafu 10. Záporný peněžní tok v 1. roce je způsobem vysokou počáteční investicí. V průběhu dalších let jsou patrné snížené toky z důvodu pravidelné

údržby. V 15. roku je provedena nutná reinvestice, a to buď pouze do ohřívače TUV nebo do ohřívače a FV měniče v případě pesimistické varianty provozu. Podrobný výkaz peněžních toků v **příloze 3**.

V následujícím grafu 11 jsou znázorněny peněžní toky během let provozu FV systému pro přímý ohřev užitkové vody. Opět se v něm nachází dvě varianty s rozdílem ve výši reinvestice v 15. roku provozu FVE. Počítám tedy opět s pesimistickou variantou, že bude zapotřebí provést výměnu řídicí jednotky SOLAR KERBEROS. Podrobná tabulka peněžních toků tohoto systému k dispozici jako **příloha 4**.



Graf 11 - CF FV systému pro přímý ohřev TUV

Při srovnání CF obou systémů je patrné, že peněžní toky z provozu FV systému pro přímý ohřev TUV během jednotlivých let jsou znatelně menší. Naopak výše prvotní investice s využitím dotací z programu NZÚ se od sebe nijak rapidně neliší. Pro porovnání ekonomické efektivity investic do obou systémů využiji výpočet NPV. NPV mohou k posouzení využít, jelikož doba životnosti obou systémů je stejná. Při posuzování investic pomocí NPV musím zohlednit také časovou hodnotu peněz, které je reprezentována tzv. diskontní sazbou. Diskontní sazbu představuje pro nás, jak jinak by se daly investované peníze během let nejlépe zhodnotit. Diskontní sazbu stanovím z hodnoty dlouhodobého inflačního cíle ČNB 2% a reálné diskontní míry pro bezrizikovou investici, kterou jsem stanovil na 1%. Diskontní sazba, s kterou budu počítat po dobu životnosti investice, bude dle uvedených hodnot 3%.

$$NPV = \sum_0^{Tž} CF_t \times (1 - r)^t \quad [Kč] \quad (12.)$$

kde	$Tž$	<i>doba životnosti</i>	<i>[rok]</i>
	r	<i>diskontní sazba</i>	<i>[%]</i>
	t	<i>čas</i>	<i>[rok]</i>
	CF_t	<i>peněžní tok v čase t</i>	<i>[Kč]</i>

FV systém	NPV [Kč]
Systém pro přímou spotřebu bez výměny měniče	-3901
Systém pro přímou spotřebu s reinvesticí do měniče	-25756
Systém pro přímý ohřev TUV bez výměny SOLAR KERBEROS	-58404
Systém pro přímý ohřev TUV s reinvesticí SOLAR KERBEROS	-75984

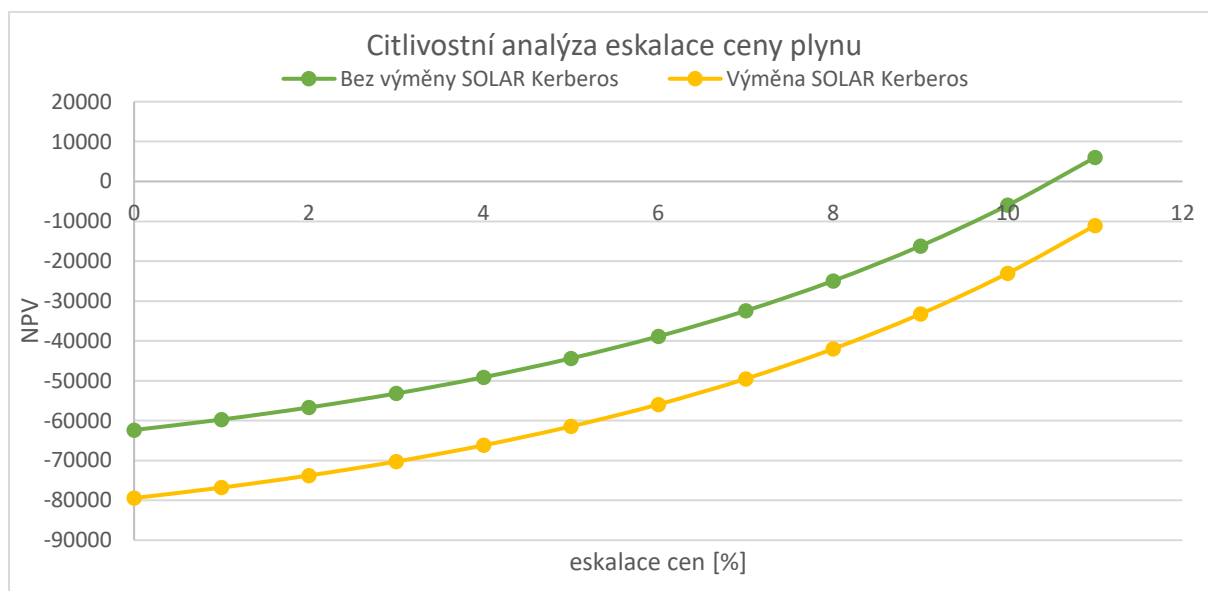
Tabulka 16 - Výsledky ekonomické efektivity investice NPV

V tabulce 16. jsou zobrazeny výsledky charakteristického ekonomického ukazatele NPV. Při posuzování výhodnosti investice volíme pouze ty investice s $NPV \geq 0$. Při rozhodování mezi několika investicemi volíme tu s největší kladnou hodnotou NPV. Z výše uvedené tabulky vidíme, že investovat se ani do jedné z variant FV systémů za daných počátečních cen a budoucí eskalace cen komodit nevyplatí.

9.2. Citlivostní analýza vstupních parametrů

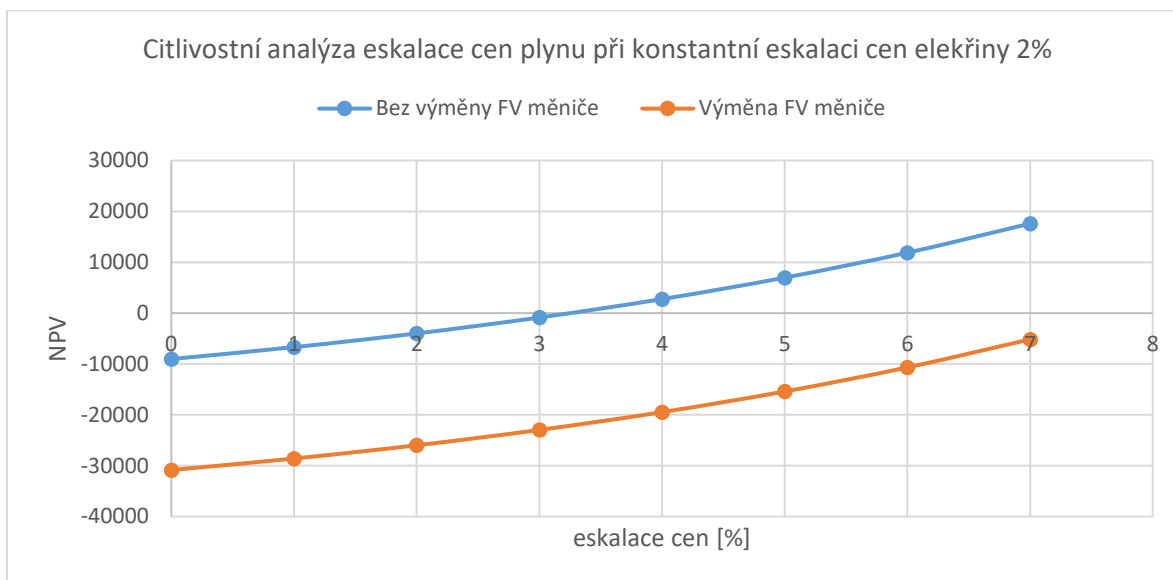
Jelikož jsem v předchozí kapitole příslušnými výpočty došel k závěru, že žádná z investic se za daných okolností dle ukazatele NPV nevyplatí, provedu v této kapitole citlivostní analýzu primárních vstupních parametrů a její vliv na hodnotu NPV uvažovaných investic. Pokusím se tedy zjistit, za jakých budoucích podmínek by se uvažované investice vyplatily.

Jelikož u obou navržených systémů dochází k úspoře plynu pro ohřev TUV, provedu citlivostní analýzu eskalace ceny plynu. Nynější variabilní složky ceny plynu, s kterou ve výpočtu uvažuji je 0,9143 Kč/kWh.



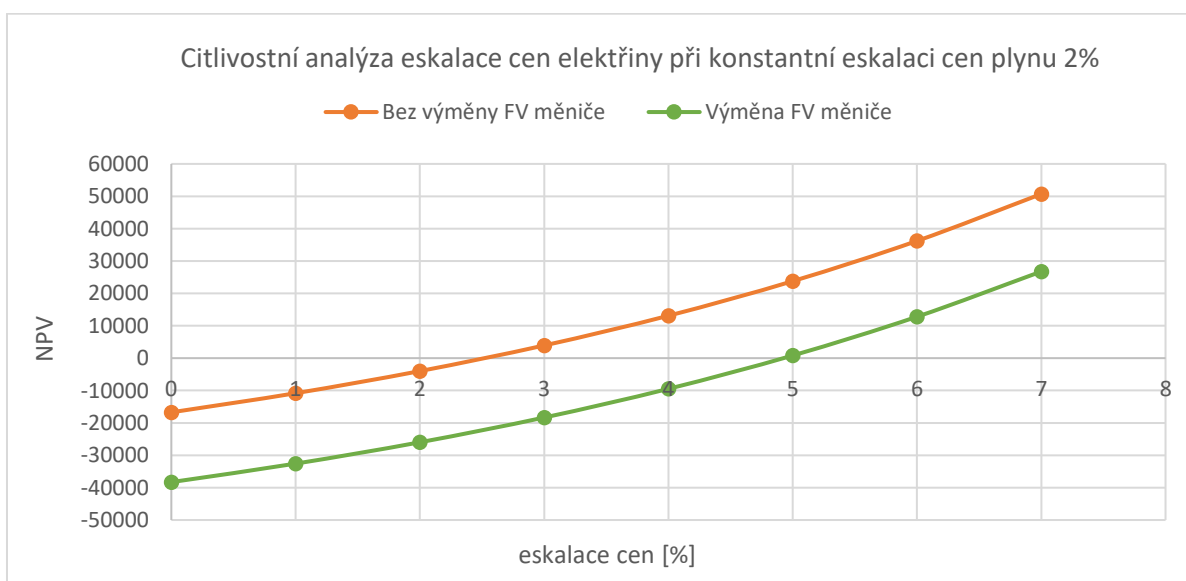
Graf 12 - Eskalace cen plynu FV systém přímý ohřev

Z grafu 12 je vidět, že by se vyplatilo investovat do FV systému pro přímý ohřev TUV až při průměrné meziroční eskalaci cen plynu 10,51 %. Tato míra eskalace je v do budoucna velmi nepravděpodobná. Tato investice se tedy za reálných podmínek nikdy nevyplatí, a proto se jí při dalších citlivostních analýzách již nebudu zabývat.



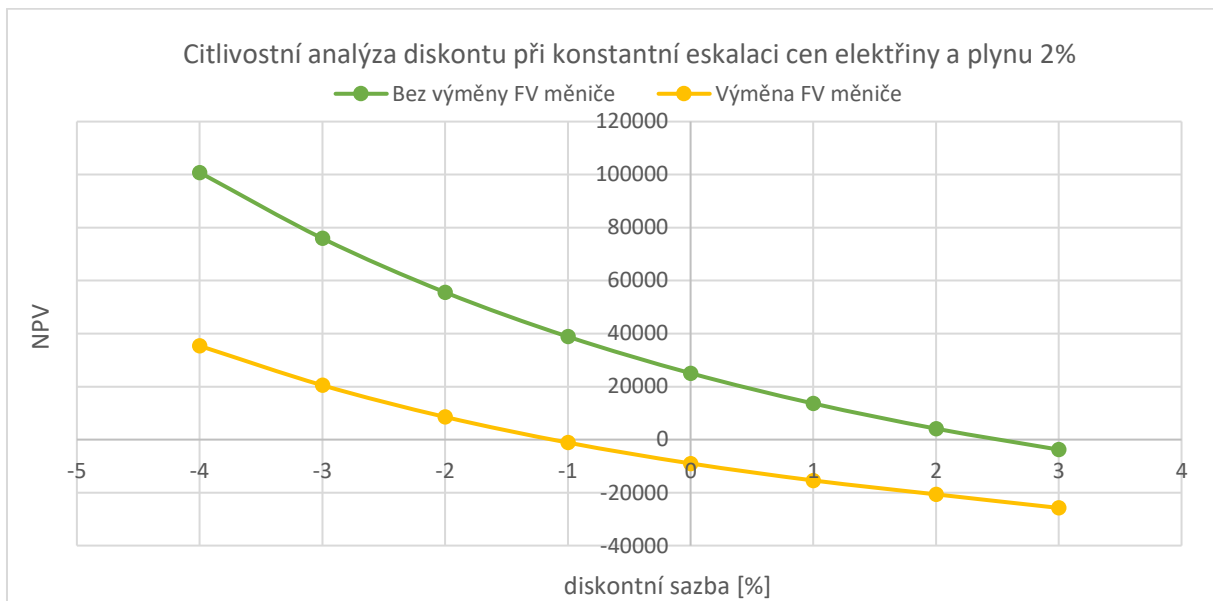
Graf 13 – Eskalace cen plynu FV systém pro přímou spotřebu s využitím přebytků pro ohřev TUV

Z grafu 13 pro eskalaci cen plynu při konstantní eskalaci cen elektřiny pro FV systém pro přímou spotřebou s využitím přebytků pro ohřev TUV je patrné, že oproti předchozímu systému by se investice vyplatila již při mnohem nižší míře eskalace. Pro provoz FVE bez výměny měniče v 15. roku je vidět, že by se investice vyplatila již při průměrné eskalaci 3,2 %.



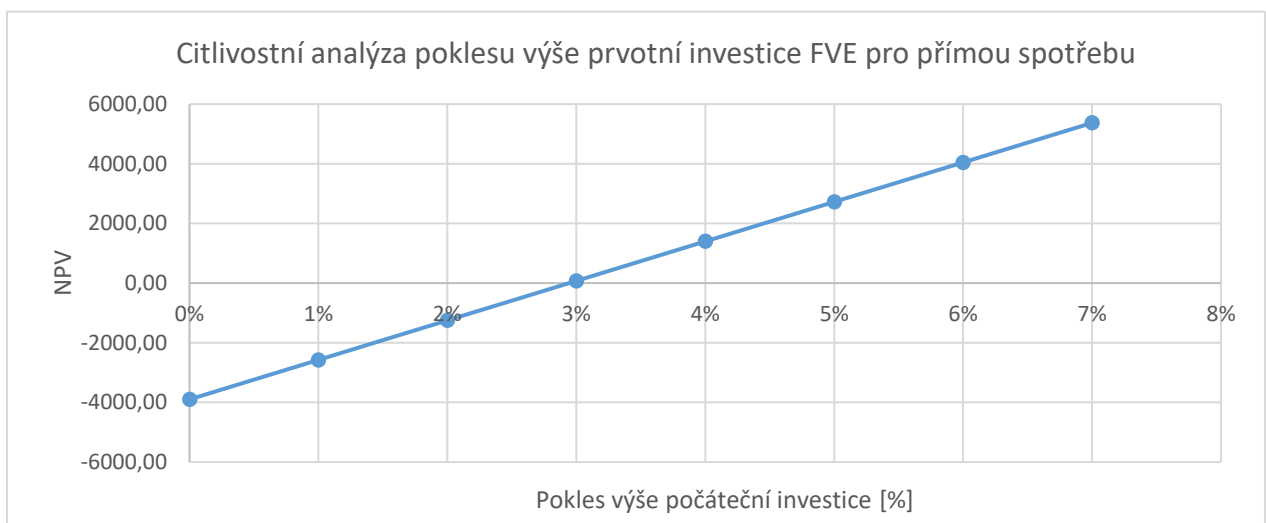
Graf 14 - Eskalace cen elektřiny FV systém pro přímou spotřebu s využitím přebytků pro TUV

Z výše uvedeného grafu je vidět, že již při průměrné meziroční eskalaci cen elektřiny 2,5 % by se uvažovaná investice vyplatila. Tato míra eskalace cen elektřiny se příliš neliší od predikce meziročního vzestupu ceny elektřiny ve výši 2 %. NPV u této investice tedy více záleží na míře eskalace cen elektřiny než plynu. Jelikož z provedených analýz je vidět, že se investice do FV systému pro přímou spotřebu s přebytky pro ohřev TUV pohybuje na pomezí ekonomické rentability, provedu u této investice citlivostní analýzu vlivu diskontní sazby na NPV.



Graf 15 - Citlivostní analýza diskontní sazby

Z této analýzy je jasně vidět, že již při diskontní míře 2,5 % by se investice do navrhovaného systému vyplatila. Opět se tato míra diskontu neliší od mnou uvažované a počítané míry diskontní sazby 3 %.



Graf 16 - Citlivostní analýza výše investice FVE pro přímou spotřebu

Z grafu 16, který představuje závislost NPV FV systému pro přímou spotřebu s využitím přebytků pro ohřev TUV je patrné, že již při 3% snížení počátečních výdajů by se investice dostala dle ukazatele NPV na ekonomicky rentabilní míru. Citlivostní analýza výše investice byla provedena pouze pro variantu optimálního provozu, tedy bez výměny FV měniče. Z výše provedených analýz lze tuto investici při malých změnách vstupních parametrů považovat za ekonomicky rentabilní a vyplatilo by se do ní investovat.

9.2.1. Závěrečná doporučení

Dle ekonomických ukazatele efektivnosti investice NPV a citlivostní analýzy mohou stanovit pořízení fotovoltaického systému pro přímý ohřev vody jako ekonomicky nevýhodný. I přes získání státní dotace z programu NZÚ není provoz tohoto systému pro řešený rodinný dům přínosný. Zejména díky stále nízké ceně plynu nebo elektřiny v nízkém tarifu, které jsou běžně využívány pro ohřev TUV. FVE tedy za aktuálních okolností není vhodnou alternativou pro ohřev TUV v malých objektech a rodinných domech.

Systém pro přímou spotřebu elektrické energie s využitím přebytků pro ohřev TUV se jeví celkově jako mnohem lepší varianta. Zejména proto, že tento systém snižuje spotřebu dražší odebírané elektřiny během dne. Pro uvažovaný rodinný dům se však za daných předpokladů ani tento systém nejeví jako ekonomicky rentabilní. Tento výsledek je zapříčiněn dle mého názoru hlavně tím, že se náš rodinný dům jeví jako energeticky úsporný a spotřeba elektřiny a plynu v domácnosti je pod republikovým průměrem. Nižší spotřeba energií plyne z málo času tráveného v domácnosti a využíváním energeticky úsporných spotřebičů. Nutno však říci, že již při malých změnách vstupních parametrů jako je cena elektřiny, plynu, výše diskontní míry a výše počáteční investice se tato situace i pro náš dům změní. Lze tedy předpokládat, že v rodinných domech s průměrnými měsíčními spotřebami plynu a elektřiny se investice do tohoto systému jako do alternativního zdroje vlastní elektrické energie vyplatí již při stanovených počátečních parametrech. Proto bych systémy pro přímou spotřebu elektrické energie s využitím přebytků určil jako ekonomicky výhodnou investici pro průměrné rodinné domy v České republice.

10. Závěr

Cílem mojí bakalářské práce bylo posoudit, zda se v současnosti v České republice za stávajících dotačních podmínek a cen energetických komodit vyplatí investovat do výstavby malých fotovoltaických elektráren. Malé fotovoltaické elektrárny bývají zpravidla vystavěny na rodinných domech s cílem snížení ročních plateb za odebíraný plyn či elektřinu, dle typu využitého fotovoltaického systému. Za účelem zjištění a porovnání ekonomické efektivity investic jsem provedl návrh dvou odlišných variant fotovoltaických systémů, dle způsobu využití vyrobené elektřiny. Jedná se o systém fotovoltaického ohřevu vody a systém pro přímou spotřebu s využitím přebytků pro ohřev teplé užitkové vody.

Pro optimální návrh fotovoltaických systémů byla nejdříve provedena analýza reálných hodnot spotřeb elektřiny a plynu rodinného domu. Pro stanovení denní spotřeby TUV v objektu bylo využito výpočtu dle normy ČSN EN 15316-3-1. Z výsledku 160 litrů teplé vody na den bylo dále určeno výpočtem potřebné teplo pro ohřev tohoto množství vody na požadovanou teplotu. Dle přesných souřadnic uvedeného objektu, sklonu jeho střechy a její orientace na světové strany byly zjištěny průměrné hodnoty měsíční výroby fotovoltaické elektrárny v závislosti na jejím instalovaném špičkovém výkonu. Tyto hodnoty byly následně použity při dimenzování fotovoltaických systémů, porovnání a výpočtech pro stanovení úspor vůči stávající variantě spotřeby energií v objektu.

Pro navrhované systémy byly zjištěny právní povinnosti pro provozovatele dle současné platné legislativy v oblasti provozu fotovoltaických elektráren. Oba systémy se řadí do oblasti tzv. mikrozdrojů a odpadají veškeré předchozí povinnosti pro provozování FVE. Důležitým krokem při návrh parametrů výsledných fotovoltaických systémů bylo zjištění závazných podmínek pro získání státní dotace z programu Nová zelená úsporám, který nabízí výrazné snížení prvotní investice.

Pro jasné stanovení ekonomické efektivity obou investic bylo zapotřebí stanovit hodnoty důležitých vstupních parametrů. Z tohoto důvodu bylo provedeno stanovení cen odebírané elektřiny a plynu a byl predikcí určen jejich pravděpodobný vývoj do budoucna. Budoucí eskalace cen obou komodit byla stanovena na hodnotu 2% meziročního růstu. Tyto hodnoty byly využity pro určení peněžních toků během jednotlivých let provozu obou systémů. Z výkazu peněžních toků byla stanovena hodnota ekonomického ukazatele NPV neboli čistá současná hodnota. NPV u FV systému pro přímý ohřev vody dosahuje záporné hodnoty -58404 Kč a u FV systému pro přímou spotřebu s využitím přebytků pro ohřev TUV dosahuje NPV hodnoty -3901 Kč. NPV je u obou systémů menší než nula a investice se tedy za daných vstupních podmínek nevyplatí ani v jednom případě.

Vstupní parametry pro výpočty ekonomické efektivity jsem podrobil citlivostní analýze. U FV systému, který je určen čistě pro ohřev TUV by se investice vyplatila až při míře meziroční eskalace cen plynu 10,51 %. Tato míra eskalace je velmi nereálná a proto se investice do toho systému za běžných podmínek nikdy nevyplatí. Naopak u navrhovaného systému pro přímou spotřebu a využití přebytků pro ohřev TUV je z analýz patrné, že při již relativně malých změnách vstupních parametrů by se investice stala ekonomicky rentabilní. Je tedy určitá pravděpodobnost, že by se investice vyplatila při trochu odlišném průběhu vývoje vstupních parametrů, než bylo určeno predikcí. Ale za současných stanovených podmínek a vstupních parametrů se výstavba a provoz fotovoltaické elektrárny pro náš rodinný dům nevyplatí. Tento výsledek je zapříčiněn zejména relativně malou spotřebou jak elektrické energie, tak plynu v domě a jeho dobrými tepelně izolačními vlastnostmi. Dle spotřeb se naše domácnost totiž jeví jako velmi energeticky nenáročná.

Seznam použitých obrázků

Obrázek 1 - Vývoj výroby elektřiny z OZE [3]	2
Obrázek 2 - Princip FV článku [8].....	6
Obrázek 3 - Funkce P-N přechodu při fotoelektrickém jevu [10].....	7
Obrázek 4 - Výkonová charakteristika FV článku při různé intenzitě záření [11].....	7
Obrázek 5 - Vliv teploty na výkon FV článku [10]	10
Obrázek 6 - Komponenty FVE systému [10].....	11
Obrázek 7 - Konstrukce FV modulu [10].....	12
Obrázek 8 - Grid-Off FVE systém	15
Obrázek 9 - Grid-on FVE systém	16
Obrázek 10 - Hybridní FVE systém	16
Obrázek 11- Konstrukce pro FV panely určená pro sedlové střechy [18]	17
Obrázek 12 - Rodinný dům jihovýchodní pohled	18
Obrázek 13 - Ohřev vody systémem SOLAR KERBEROS [28].....	30
Obrázek 14 - Zapojení 8 FV panelů pro získání výkonu 2kWp [30]	31
Obrázek 15 - FVE s řízením vlastní spotřeby a využitím přebytků pro ohřev TUV [32].....	35

Seznam použitých tabulek

Tabulka 1 - porovnání parametrů FV panelů.....	14
Tabulka 2 - Měsíční a denní spotřeba elektrické energie v RD	19
Tabulka 3 - Celková cena elektřiny za rok a její složky	20
Tabulka 4 - Odběry spotřebičů během dne.....	21
Tabulka 5 – Reálná spotřeba a výsledná cena za odebraný plyn	23
Tabulka 6 - Značení účinnosti dle směrnice Rady 92/42/EHS	24
Tabulka 7- Průměrná vyrobená el. energie a energie dopadajícího záření při FVE 1kWp	26
Tabulka 8 - Požadavky na parametry FV panelu	31
Tabulka 9 - Limity pro použitá SOLAR KERBEROS 320.B.....	32
Tabulka 10 - Investiční výdaje pro FV systém přímého ohřevu vody.....	34
Tabulka 11 - Technické parametry měniče SunnyBoy 2.5 [34]	36
Tabulka 12 - Bilance přebytků pro ohřev TUV během měsíců	38
Tabulka 13 - Investiční výdaje pro FV systém pro přímou spotřebu s přebytky pro TUV	38
Tabulka 14 - Vývoj konečné ceny elektřiny v Kč/kWh v letech 2009-2017	39
Tabulka 15 - Vývoj konečné ceny zemního plynu v Kč/kWh v letech 2009-2017	40
Tabulka 16 - Výsledky ekonomické efektivity investice NPV	44

Seznam použitých grafů

Graf 1 - Měsíční spotřeba el. energie v letech 2013, 2014 a 2015.....	19
Graf 2 - Denní diagram spotřeby RD	22
Graf 3 - Průběh spotřeby plynu během roku	24
Graf 4 - Průměrné měsíční hodnoty výroby Em	27
Graf 5 - Rozložení potřeby a výroby tepla během dne.....	32
Graf 6 - Snížení výroby FVE vlivem degradace FV panelů	33
Graf 7 - Porovnání výroby FVE a spotřeby elektřiny během dne	37
Graf 8 - Historický vývoj celkové ceny elektřiny dodavatele ČEZ [22].....	39
Graf 9 - Historický vývoj průměrné celkové ceny zemního plynu [23].....	40
Graf 10 - CF FV systém pro přímou spotřebu a přebytky pro ohřev TUV	42
Graf 11 - CF FV systému pro přímý ohřev TUV	43
Graf 12 - Eskalace cen plynu FV systém přímý ohřev.....	44
Graf 13 – Eskalace cen plynu FV systém pro přímou spotřebu s využitím přebytků pro ohřev TUV	45
Graf 14 - Eskalace cen elektřiny FV systém pro přímou spotřebu s využitím přebytků pro TUV.....	45
Graf 15 - Citlivostní analýza diskontní sazby	46
Graf 16 - Citlivostní analýza výše investice FVE pro přímou spotřebu	46

Seznam použitých zkratek

<i>FVE</i>	-	<i>fotovoltaická elektrárna</i>
<i>ES</i>	-	<i>Elektrická soustava</i>
<i>OZE</i>	-	<i>obnovitelné zdroje energie</i>
<i>STC</i>	-	<i>Standart test condition</i>
<i>FV</i>	-	<i>fotovoltaický</i>
<i>DC</i>	-	<i>stejnoseměrný</i>
<i>AC</i>	-	<i>střídavý</i>
<i>RD</i>	-	<i>rodinný dům</i>
<i>TUV</i>	-	<i>teplá užitková voda</i>
<i>kWp</i>	-	<i>kilowatt peak</i>
<i>ERÚ</i>	-	<i>Energetický regulační úřad</i>
<i>EUA</i>	-	<i>European Union Allowance</i>
<i>MPPT</i>	-	<i>maximum power point tracker</i>
<i>PVGIS</i>	-	<i>geografický informační systém</i>
<i>ČSÚ</i>	-	<i>Český statistický úřad</i>
<i>ČNB</i>	-	<i>Česká národní banka</i>
<i>CF</i>	-	<i>Cash Flow</i>
<i>NPV</i>	-	<i>současná čistá hodnota</i>

Seznam použité literatury

- [1] ČESKÁ REPUBLIKA. *Zákon č. 165/2012 Sb.: Zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů*. In: Praha: Parlament, 2012, 59/2012, číslo 165. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-165#p3>
- [2] *STÁTNÍ ENERGETICKÝ KONCEPCE České republiky: ASEK 2015*. In: Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2014. Dostupné také z: <http://www.mpo.cz/dokument158012.html>
- [3] Obrázek dostupný z: <http://oenergetice.cz/wp-content/uploads/2015/02/Vyroba.jpg>
- [4] *Program ke 100. výročí publikování speciální teorie relativity: Součást vzdělávacího programu SVĚT ENERGIE* [online]. 2005 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/einstein/f3.htm>
- [5] Fyzika007. *FYZIKA MIKROSVĚTA: Einsteinova teorie fotoelektrického jevu* [online]. [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: <http://www.fyzika007.cz/fyzika-mikrosveta/einsteinova-teorie-fotoelektrickeho-jevu>
- [6] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie*. 2., dopl. vyd. Praha: Ilsa, 2010. ISBN 978-80-904311-5-7.
- [7] *1. Fotoelektrický jev* [online]. Brno: Horský P., 1996 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: <http://www.kof.zcu.cz/st/dp/horsky/html/2fotoel.html>
- [8] Obrázek dostupný z: <http://www.tzb-energ.cz/images/fotovoltaika-princip-jevu.jpg>
- [9] *Solární energie CEZ: Součást vzdělávacího programu SVĚT ENERGIE* [online]. RNDr. Jaroslav Kusala, 2006 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/f8.htm>
- [10] MASTNÝ, Petr. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [11] Obrázek dostupný z: <http://oze.tzb-info.cz/docu/clanky/0117/011772o3.png>
- [12] BOXWELL, Michael. *Solar electricity handbook: a simple practical guide to solar energy : how to design and install photovoltaic solar electric systems*. 2015 edition, Ninth edition. ISBN 9781907670459.
- [13] GreenTriplex PM060M02: Mono-Crystalline Photovoltaic Module. *Datasheet BenQ: BenQ Solar AU* [online]. 2015 [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: <https://shop.iftech.cz/solarni-panely/437-solarni-panel-benq-270wp-mono.html>
- [14] GreenTriplex PM060P00: Poly-krystalický fotovoltaický panel. *Datasheet BenQ: BenQ Solar AU* [online]. 2015 [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: https://shop.iftech.cz/solarni-panely/472-solarni-panel-benq-255wp-poly.html?search_query=BENQ+poly&results=8
- [15] Dünnschichttechnologie: NexPower NT-130AX. *Datasheet WINAICO* [online]. [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: https://shop.iftech.cz/solarni-panely/429-solarni-panel-nexpower-130wp-thin-film.html?search_query=NEXPOWER+130WP+THIN+FILM&results=1

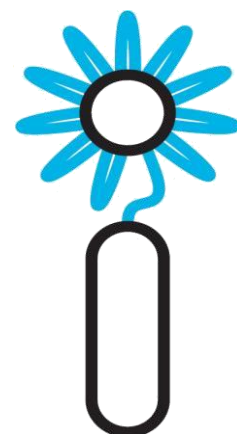
- [16] Fotovoltaický střídač - účinnost není vše: Důležitější je maximální výnos energie. *TZBinfo: Technická zařízení budov* [online]. [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5571-fotovoltaicky-stridac-ucinnost-neni-vse>
- [17] *FOTOVOLTAIKA A FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY V PODMÍNKÁCH ČR A JEJICH NAVRHOVÁNÍ*. Ing. Jaromír Řehák, Ing. Jiří Bártek, CSc., Ing. Radim Bařinka. Vinohradská 8, 120 00 Praha 2: Česká energetická agentura, SOLARTEC.
- [18] Obrázek dostupný z: <https://shop.iftech.cz/3485-home-default/set-pro-12-panelu-3kw.jpg>
- [19] Ceník ČEZ: Rok 2017 D-standart. <https://www.cez.cz/>: Skupina ČEZ [online]. [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/pubutf/ww3/cs/elektrina/cez-s-odmenou/cenik.html>
- [20] Tepelná bilance objektu: Denostupňová metoda. *Katedra technických zařízení budov K11125: Fakulta stavební* [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/?mod=podklady&id=1>
- [21] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS): Geographical Assessment of Solar Resource and Performance of Photovoltaic Technology. *Institute for energy and transport* [online]. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy, 2012 [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- [22] Analýza cen elektrické energie: Vývoj cen regulovaných složek elektrické energie. *Kalkulátor cen energií* [online]. tzbinfo [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://kalkulator.tzb-info.cz/cz/vyvoj-cen-regulovanych-slozek-elektricke-energie>
- [23] Analýza cen zemního plynu: Vývoj celkových cen zemního plynu. *Kalkulátor cen energií* [online]. tzbinfo [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://kalkulator.tzb-info.cz/cz/vyvoj-celkovych-cen-zemniho-plynu?op=7.56-15>
- [24] Rodinné domy: 3. výzva pro rodinné domy. *Nová zelená úsporám* [online]. Ministerstvo životního prostředí [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/rodinne-domy/3-vyzva-rodinne-domy/o-programu-3-vyzva/>
- [25] Rodinné domy: Podmínky oblasti podpory C. *Nová zelená úsporám* [online]. Ministerstvo životního prostředí [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/rodinne-domy/3-vyzva-rodinne-domy/podminky-oblasti-podpory-c-3-vyzva/>
- [26] Solární ohřev vody: Jak funguje. *SOLAR KERBEROS: Fotovoltaický ohřev vody* [online]. 2017 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.solar-kerberos.cz/cz/jak-funguje>
- [27] Závěsné ohříváče vody: DZ Dražice fotovoltaické řešení. *DZ Dražice* [online]. Družstevní závody Dražice, 2014 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.dzd-fv.cz/cs/sortiment/zavesne-ohrivace>
- [28] Solární experti: Jak funguje fotovoltaický ohřev vody. *Solární experti s.r.o.: Energetická revoluce začíná na vaší střeše* [online]. [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/jak-funguje-fotovoltaicky-ohrev-vody/>

- [29] OHŘÍVAČE VODY OKCE. DZ Dražice: Ohřivače vody a bojlerů [online]. Družstevní závody Dražice-Strojírna s.r.o, 2016 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.dzd.cz/cs/ohrivace-vody-bojleru/elektricke-ohrivace-vody/zavesne-svisle/okce-kulate>
- [30] ZÁVĚSNÉ OHŘÍVAČE VODY: Fotovoltaické panely. DZ Dražice [online]. Družstevní závody Dražice-Strojírna s.r.o, 2016 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.dzd-fv.cz/cs/sortiment/zavesne-ohrivace>
- [31] Příprava teplé vody: Potřeba tepla pro přípravu teplé vody. *Technické zařízení budov* [online]. ČVUT v Praze, Fakulta strojní: Ing. Roman Vavříčka, Ph.D, 2012 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/9395-potreba-tepla-pro-pripravu-teple-vody>
- [32] Solární elektrárna o výkonu 2,6 kWp na klíč. *Solární experti s.r.o.: Energetická revoluce začíná na vaší střeše* [online]. [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/solarni-systemy/fotovoltaika/fotovoltaicka-elektrarna-fve-o-vykonu-26-kwp-na-klic/>
- [33] *Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory z podprogramu Nová zelená úsporám: RODINNÉ DOMY v rámci 3. výzvy k podávání žádostí.* In: . Praha 4: Státní fond životního prostředí ČR, 2016, Program Ministerstva životního prostředí. Dostupné také z: <http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/rodinne-domy/3-vyzva-rodinne-domy/podminky-oblasti-podpory-c-3-vyzva/>
- [34] *Sunny Boy 1.5 / 2.5: Datasheet The new standard for small PV systems.* In: . SMA Solar Technology. Dostupné také z: <http://www.sma.de/en/products/solarinverters/sunny-boy-15-25.html>

Seznam příloh

1. *Kalkulace roční platby za odběr plynu od aktuálního dodavatele*
2. *Technické parametry NUVOLA3 Comfort HT 240*
3. *CF FV systému pro přímou spotřebu s využitím přebytků pro ohřev TUV*
4. *CF FV systému s jednotkou SOLAR KERBEROS pro přímý ohřev TUV*

Kalkulace roční platby za dodávku plynu od innogy k datu 9.3.2017



pro zákazníka:

na základě Vašeho požadavku Vám zasíláme kalkulaci předpokládané roční platby za dodávku plynu od innogy Energie, s.r.o., pro níže uvedené parametry odběrného místa a zvolený produkt (ceník):

PARAMETRY ODBĚRNÉHO MÍSTA

Distribuční území	GasNet, s.r.o.	Roční spotřeba	10,000 MWh
Nabídka je kalkulována na základě ceníku	plyn Benefit+ platného k 01.03.2017		

KALKULACE CELKOVÉ ROČNÍ PLATBY ZA PLYN

Platba za odebraný plyn a ostatní služby dodávky bez DPH	9 143,50 Kč
z toho	
cena za odebraný plyn [Kč/MWh]	735,55 Kč
stálý měsíční plat [Kč/měsíc]	149,00 Kč
Platba za službu distribuční soustavy bez DPH (včetně pevné ceny za činnosti operátoru trhu)	3 606,24 Kč
Celková platba bez DPH	12 749,74 Kč
Celková platba s DPH	15 427,19 Kč

Tento dokument není závazným cenovým návrhem ani nabídkou na uzavření smlouvy ve smyslu občanského zákoníku.

Dokument slouží jako informativní propočtení předpokládané roční platby za dodávku plynu ke dni jeho odeslání zákazníkovi, a to za předpokladu dosažení uvedené spotřeby, uzavření smlouvy na uvedený obchodní produkt s uvedeným ceníkem a zachování stávající výše státem regulovaných složek ceny a DPH. V případě zájmu zákazník následně obdrží závazný návrh smlouvy s příslušným ceníkem obsahujícím jednotkové ceny.

Kalkulace vychází z regulovaných cen platných od 1. 1. 2017 a DPH 21%. Celkové výše plateb se mohou lišit od hodnot fakturovaných nebo propočtených zákazníkem dle jednotkových cen uvedených v ceníku, a to zejména, nikoli však pouze, v důsledku zaokrouhlení.

Navíc jako zákazníci innogy můžete využívat:

pronájem **LED žárovek**



innogy **Pojištění domácnosti**



výhodné volání s **innogy Mobil**



další snížení ceny spotřebované energie až o 4 % se službou **Investor**




širokou sítí 41 **kontaktních center** v celé ČR



pronájem **detektorů kouře a CO**

Kontaktní centrum: NONSTOP linka 800 11 33 55, info@innogy.cz, zákaznická centra: www.ipobocky.cz, web: www.innogy.cz

TECHNICKÉ PARAMETRY

Typ		Nuvola 3 Comfort HT	
Model		240	330
Odtah spalin		nucený (turbo)	
Provedení kotle (odtah spalin)		C13 - C33 - C43 - C53 - C63 - C83 - B23	
Kategorie		II _{2H3P}	
Jmenovitý tepelný příkon TUV	kW	24,7	34
Jmenovitý tepelný příkon topení	kW	20,5	28,9
Redukovaný tepelný příkon	kW	4,1	9,7
*Spotřeba při jmen. výkonu TOPENÍ	kWh	20,5	28,9
*Spotřeba při reduk. výkonu	kWh	4,1	9,7
Jmenovitý tepelný výkon TUV	kW	24	33
Jmenovitý tepelný výkon topení 75/60°C	kW	20	28
Jmenovitý tepelný výkon topení 50/30°C	kW	21,6	30,3
Redukovaný tepelný výkon 75/60°C	kW	4,0	9,4
Redukovaný tepelný výkon 50/30°C	kW	4,3	10,2
Účinnost dle směrnice 92/42/CEE	—	****	****
Max. přetlak vody v okruhu topení	bar	3	
Objem expanzní nádoby	l	8	10
Plnicí přetlak v expanzní nádobě	bar	0,5	
Teplotní rozsah okruhu topení	°C	25+80	
Max. přetlak v okruhu TUV	bar	8	
Min. spínací přetlak vody v okruhu TUV	bar	0,15	
Min. průtok TUV	l/min	2,0	
Množství TUV při ohřátí o 25°C	l/min	13,8	18,9
Množství TUV při ohřátí o 35°C	l/min	9,8	15,8
Specifický průtok (*)"D"	l/min	16,6	19,5
Teplotní rozsah okruhu TUV	°C	35+60	
Průměr koaxiálního potrubí odkouření	mm	100 / 60	
Průměr děleného potrubí odkouření	mm	80 / 80	
Max. hmotnostní průtok spalin	kg/s	0,012	0,016
Min. hmotnostní průtok spalin	kg/s	0,002	0,005
Max. teplota spalin	°C	73	75
Tlaková ztráta ve spalinovém potrubí	Pa	190	
Třída NOx		—	5
Topný plyn: ZEMNÍ	—	G20	
Topný plyn: PROPAN	—	G31	
Připojovací přetlak - zemní plyn G20	mbar	20	
Připojovací přetlak - propan G31	mbar	37	
Elektrické napětí / frekvence	V/Hz	230	
Jmenovitý elektrický příkon	W	150	160
Stupeň elektr. krytí	--	IPx5D	
Hmotnost	kg	65	67
Rozměry	výška	mm	950
	šířka	mm	600
	hloubka	mm	466

*Příklad: SPOTŘEBA 1 m³ ZEMNÍHO PLYNU = cca 10,4 kWh (podrobnější informace poskytne dodavatel plynu)

Příloha 3

Výpis peněžních toků během let FV systému pro přímou spotřebu s přebytkem pro ohřev TUV						
rok	příjmy	výdaje			údržba+revize	CF
		pojištění	investice+demontáž	reinvestice		
0	60000	0	132452	0	0	-72452
1	4336	400	0	0	0	3936
2	4423	408	0	0	0	4015
3	4511	416	0	0	0	4095
4	4601	424	0	0	0	4177
5	4693	433	0	0	1948	2312
6	4787	442	0	0	0	4346
7	4883	450	0	0	0	4433
8	4981	459	0	0	0	4521
9	5080	469	0	0	0	4612
10	5182	478	0	0	2151	2553
11	5286	488	0	0	0	4798
12	5391	497	0	0	0	4894
13	5499	507	0	0	0	4992
14	5609	517	0	0	0	5092
15	5721	528	0	6597	2375	-3779
16	5836	538	0	0	0	5297
17	5952	549	0	0	0	5403
18	6071	560	0	0	0	5511
19	6193	571	0	0	0	5622
20	6317	583	0	0	2622	3112
21	6443	594	0	0	0	5849
22	6572	606	0	0	0	5966
23	6703	618	0	0	0	6085
24	6837	631	0	0	0	6207
25	6974	643	12867	0	0	-6536

Příloha 4

Výpis peněžních toků během let FV systému pro přímý ohřev vody SOLAR KERBEROS						
rok	příjmy	výdaje			údržba+revize	CF
		pojištění	investice+demontáž	reinvestice		
0	40000	0	102883	0	0	-62883
1	1376	400	0	0	0	976
2	1403	408	0	0	0	995
3	1431	416	0	0	0	1015
4	1460	424	0	0	0	1035
5	1489	433	0	0	1948	-892
6	1519	442	0	0	0	1077
7	1549	450	0	0	0	1099
8	1580	459	0	0	0	1121
9	1612	469	0	0	0	1143
10	1644	478	0	0	2151	-985
11	1677	488	0	0	0	1189
12	1710	497	0	0	0	1213
13	1745	507	0	0	0	1237
14	1780	517	0	0	0	1262
15	1815	528	0	6597	2375	-7685
16	1851	538	0	0	0	1313
17	1888	549	0	0	0	1339
18	1926	560	0	0	0	1366
19	1965	571	0	0	0	1393
20	2004	583	0	0	2622	-1201
21	2044	594	0	0	0	1450
22	2085	606	0	0	0	1479
23	2127	618	0	0	0	1508
24	2169	631	0	0	0	1538
25	2213	643	12867	0	0	-11298