

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Fotovoltaické systémy

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan KADLEC**
Osobní číslo: **E12B0042K**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Fotovoltaické systémy**
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

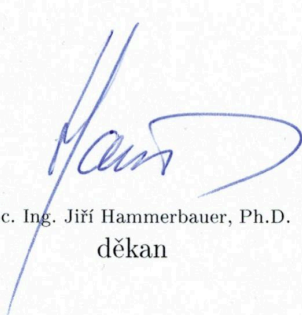
1. Představte základní princip fotovoltaických článků.
2. Popište základní typy fotovoltaických článků a jejich účinnost s výhledem do budoucna.
3. Uveďte příklad základního zapojení fotovoltaických systémů (topologie, použité měniče atd.)
4. Proveďte zhodnocení a porovnání podpůrných systémů, připojení do DS, a posouzení ekonomického hlediska.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

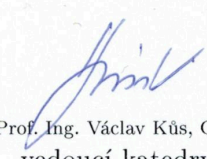
- 1. Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Klor**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2014**
Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2015**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

První část předkládané bakalářské práce představuje fyzikální princip získávání energie ze slunečního záření a popis základních fotovoltaických článků s výhledem jejich využití do budoucna. V další části jsou vysvětleny základní typy zapojení fotovoltaického systému a jejich možnosti připojení do distribuční soustavy. V závěru této práce jsou uvedeny dva dotační programy vztahující se k fotovoltaickému systému s možností finančního výnosu. V této části jsou provedeny kalkulace za pomoci hodnot získaných z reálné instalace fotovoltaického systému.

Klíčová slova

FV - fotovoltaika, fotovoltaické články, fotovoltaické panely, fotovoltaická elektrárna, sluneční záření, fotony, obnovitelné zdroje energie, off-grid, on-grid, zelený bonus, výkupní cena

Abstract

The first part of this thesis describes the physical principle of obtaining energy from sunlight and explanation of the basic photovoltaic cells including an outlook for use in the future. The next part is an introduction of basic types of wiring of a photovoltaic system and its connectivity to the power grid. The conclusion of this work presents two grant programs related to the photovoltaic system with the possibility of a financial return ability. In this summary, calculations are made using fair values used from a real installation of a photovoltaic system.

Key words

PV - photovoltaic, photovoltaic cells, photovoltaic panels, photovoltaic power, solar radiation, photons, renewable energy, off-grid, on-grid, green bonus, the purchase price

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 5. 6. 2015

Jan Kadlec

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomášovi Klorovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

Obsah	I
Seznam symbolů	II
Úvod	1
Historie	2
1 Princip fotovoltaického článku	3
1.1 Sluneční záření.....	3
1.2 Fyzikální princip polovodičového fotovoltaického článku.....	3
1.3 Vlastní fotovoltaický článek.....	5
2 Základní typy fotovoltaických článků	7
2.1.1 První generace.....	7
2.1.2 Druhá generace.....	7
2.1.3 Třetí generace.....	7
2.1.4 Čtvrtá generace.....	8
2.2 Dostupné typy fotovoltaických článků.....	8
2.2.1 Monokrystalické křemíkové články.....	8
2.2.2 Polykrystalické křemíkové články.....	9
2.2.3 Fotovoltaické články z amorfního křemíku (a-Si).....	10
2.2.4 Mikromorfní solární články (μ -Si a a-Si).....	11
2.2.5 Solární články CIS (Copper-Indium-diSelenid, dvojselenid mědi-india).....	12
2.2.6 Solární články CdTe (Cadmium tellurid – články na bázi teluridu kademnatého).....	13
2.3 Nové technologie solárních článků.....	13
2.3.1 Vývoj technologie krystalického křemíku.....	13
2.3.2 Použití UMG křemíku.....	14
2.3.3 Vývoj technologie tenkovrstvých solárních článků.....	14
2.3.4 Organické solární články.....	14
3 Základní zapojení fotovoltaických systémů	15
3.1 Drobné aplikace.....	15
3.2 Ostrovní systémy (Off-grid).....	15
3.2.1 Systémy s přímým napájením.....	15
3.2.2 Hybridní systémy a systémy s akumulací elektrické energie.....	16
3.3 Síťové systémy (On-grid).....	16
4 Posuzovaný příklad základního zapojení fotovoltaického systému	18
4.1 Princip zapojení.....	18
4.1.1 Použité základní komponenty.....	18
4.2 Dotace.....	21
4.2.1 Přímý výkup.....	21
4.2.2 Zelený bonus.....	22
4.3 Výroba FV energie a spotřeba investorem.....	22
4.3.1 Vyrobená elektrická energie.....	22
4.3.2 Spotřebovaná energie investorem v letech 2013 – 2014.....	23
4.4 „Přímý výkup“ nebo „Zelený bonus“?.....	24
4.5 Ekonomické zhodnocení.....	27
4.6 Ekologické zhodnocení.....	29
5 Závěr	30
Seznam literatury	31

Seznam symbolů

CdTe	Cadmium-Tellurid	Telurid kademnatý
CIS	Copper-Indium-diSelenid	Dvojselenid mědi a india
DS	Distribuční soustava	
ERÚ	Energetický regulační úřad	
eV	elektron-Volt	Jednotka práce a energie
FV	Fotovoltaika	
FVE	Fotovoltaická elektrárna	
IR	Infra-Red	Infračervené záření
STC	Standart test condition	Standardní testovací podmínky při měření fotovoltaických panelů a článků; Intenzita záření = 1000 W/m ² , spektrum AM 1,5 Global (standardní solární spektrum) a teplota panelu je 25 °C
TCO	Transparent conductive oxide	Transparentní vodivý oxid
UMG	Upgraded Metallurgical Grade silicon	Zušlechtěný hutnický křemík
UV	Ultra-Violet	Ultrafialové záření
Wh	Watt-hodina	Jednotka energie
Wp	Watt-peak	Jmenovitý výkon fotovoltaického systému
ZB	Zelený bonus	Dotační program

Úvod

V dnešní době je možné říci, že elektrická energie je pro člověka téměř nepostradatelná. Využíváme ji k přeměně na jiné energie, ať už se jedná o energii mechanickou či tepelnou, k práci spotřebičů, komunikaci, automatizaci a mnoha dalším účelům.

Přestože se veškeré spotřebiče vyrábějí s co nejvyšší možnou úsporou elektrické energie, s přibývajícím náročností na vyšší životní styl a komfort přibývá i její vyšší spotřeba.

Ačkoli jsou neobnovitelné zdroje stále dominantní částí v diagramu denní spotřeby energie, není výroba energie tímto způsobem nekonečná a zásoby pro jaderné reakce či fosilizovanou biomasu můžeme v budoucnosti vyčerpat. Získávání energie se skrývá v obnovitelných zdrojích, jako je například větrná elektrárna, kinetická energie soustavy Země-Měsíc přeměněná na energii přílivu, geotermální energie a sluneční energie. Z obnovitelných zdrojů energie se nejvyšší potenciál skrývá v energii slunečního záření. Jedná se o jediný zdroj energie, který by byl schopen dlouhodobě pokrýt veškerou současnou potřebu.

K výrobě elektrické energie ze slunečního záření jsou potřebné fotovoltaické panely. Tyto panely mají spoustu výhod, jako je jejich nulový vliv k životnímu prostředí, neprodukuje emise, nejsou škodlivé ani životu nebezpečné oproti neobnovitelným zdrojům a zároveň negenerují akustické signály a neruší ostatní zařízení v celém frekvenčním spektru.

Tato práce je z části věnována historii fotovoltaických panelů a teorii získávání elektrické energie ze slunečního záření pomocí fotovoltaických článků. Převažující část této práce je věnována návrhu výstavby malé fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům. V závěru jsou zhodnoceny rozhodující aspekty pro pořízení fotovoltaického systému.

Historie

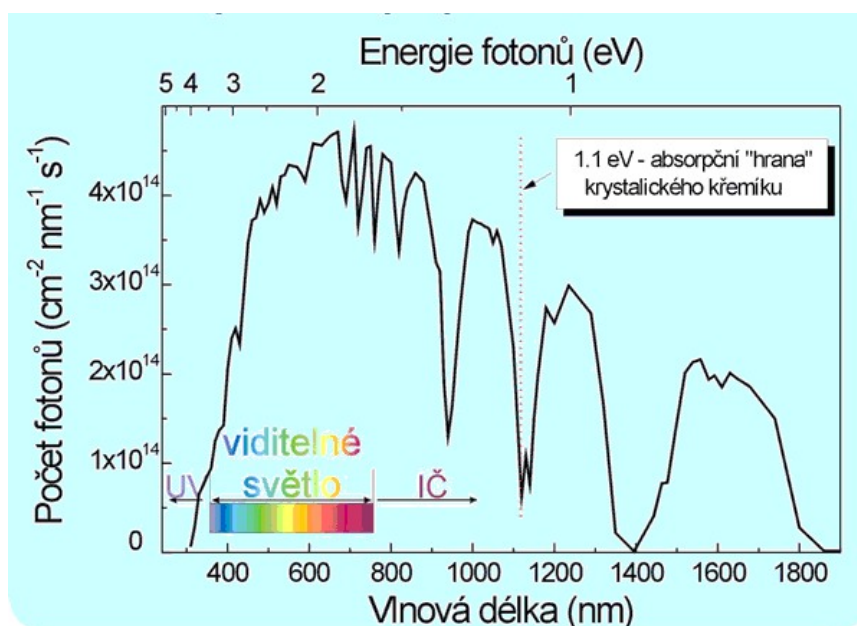
V roce 1839 mladý francouzský fyzik jménem Alexandr Edmond Becquerel experimentoval s kovovými elektrodami ponořenými do elektrolytu. Během experimentu zjistil, že při nasvícení elektrod jimi začne procházet proud. Ovšem první skutečný fotovoltaický (FV) článek, bez nutnosti ponoření do elektrolytu, vytvořili v roce 1877 William Grylls Adams a jeho žák Richard Evans Day. K jeho výrobě použili selen. Bylo to jen rok po tom, co při svém experimentu zpozorovali FV jev [5]. Další významný krok učinil Charless Fritts v roce 1883, kdy polovodivý selen potáhl tenkou vrstvou zlata. Jeho články měly účinnost pod 1 % a pokrývaly plochu 30 cm². Fritts jako první odhadl, jak velký potenciál má toto zařízení pro lidstvo. Při těchto ještě stále nízkých vlastnostech nemohlo, a také nedošlo, k hromadné výrobě. Roku 1904 Albert Einstein fyzikálně popsal FV jev a 17 let poté mu byla udělena Nobelova cena mimo jiné za objevení zákona o fotoelektrickém jevu. Dalším držitelem stejné Nobelovy ceny se stal Robert Millikan, který v roce 1916 experimentálně potvrdil tento jev. Křemíkový fotovoltaický článek si nechal patentovat Russel S. Ohl v roce 1946 v USA. O 8 let později (1954) byl v Bellových laboratořích vyroben FV článek s účinností 6 %, který byl z křemíku dopovaného jiným prvkem, resp. článek s P-N přechodem. Z důvodu požadavků čistého křemíku byly náklady na výrobu velmi vysoké. Až v šedesátých letech 20. století začalo docházet k větší výrobě FV panelů, což mělo přitom souvislost s požadavky na napájení družic. První družicí využívající fotovoltaickou energii byl ruský Sputnik 3, vypuštěný 15. května 1957. Další požadavky na výrobu fotovoltaických článků se zvýšily roku 1973, v době celosvětové ropné krize. V dnešní době je rozvoj fotovoltaických panelů na vysoké úrovni a jejich použití je různé.

1 Princip fotovoltaického článku

Pojem fotovoltaika pochází složením z řeckého slova *phos* = světlo a ze jména italského fyzika Alessandra Giuseppe Antonio Anastasio Volty, *Volt* = jednotka napětí elektrické energie.

1.1 Sluneční záření

Při dopadání slunečního záření na Zem se po průchodu atmosférou dostane na povrch planety jen část sluneční energie. Sluneční záření se skládá z fotonů různých vlnových délek, tím i různých energií. Viditelná část spektra dopadajícího záření je v oblasti 380 až 780 nm. Část spektra záření s kratší vlnovou délkou než 380 nm se nazývá ultrafialové (UV) a s vyšší vlnovou délkou než 780 nm je infračervené (IR) Obr. 1.



Obr. 1 Energie fotonů

1.2 Fyzikální princip polovodičového fotovoltaického článku

Elektrický proud je tvořen proudem elektronů, které se pohybují od pólu nižšího napětového potenciálu přes zátěž (spotřebič) do pólu s vyšším napětovým potenciálem. V praxi pro jednoduchost uvádíme, že proud teče od kladného pólu k zápornému, jako by šlo o tok kladných nábojů putující opačným směrem, což je přesný opak k fyzikální podstatě jevu.

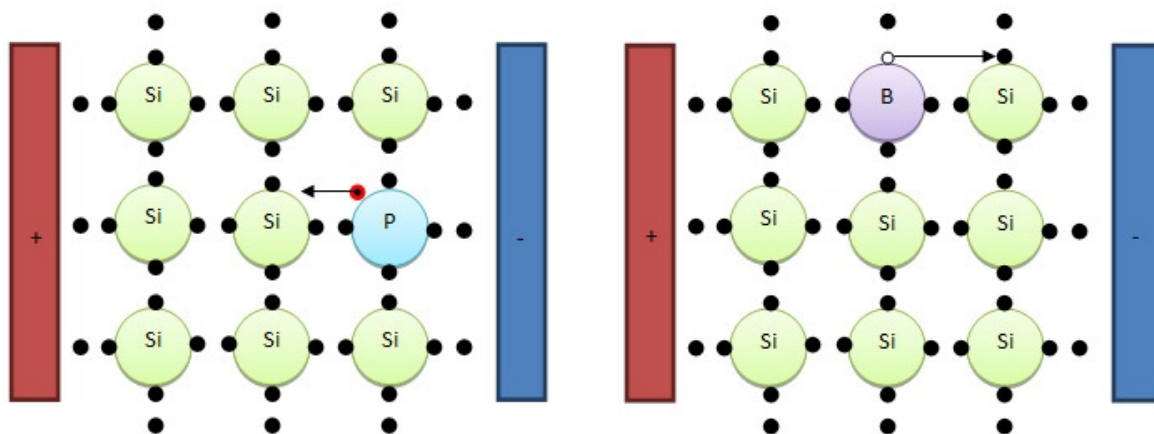
K přeměně energie proudu fotonů ze slunečního záření na energii pohybujících se elektronů jsou zapotřebí volné elektrony a elektrický potenciál, jenž uvede elektrony do pohybu. Volné elektrony jsou k dispozici v každém kovu, složitější částí je dodání potřebné energie a usměrnění toku elektronů požadovaným směrem.

Sluneční záření neboli proud fotonů, jak jej nazval Albert Einstein [1], dokáže elektronu v kovu či v polovodiči předat energii. Pokud je energie záření dostatečná, dojde při jeho ozařování k uvolňování elektronu z povrchu kovu. Elektron po vylétnutí z obalu po sobě zanechá tzv. „díru“, tj. v atomu je vyšší počet protonů. Jedná se o tzv. fotoelektrický jev [5]. Pokud je energie fotonů nedostatečná, elektron zůstane v kovu. Velmi rychle je přitážen k díře a jeho energie se uvolní v podobě neužitečného tepla. Proto, než elektrony zapadnou do díry, potřebujeme je od díry oddělit po dobu, než projdou vodiči a spotřebičem, aby energii předaly právě do spotřebiče. Tento jev lze lépe realizovat v polovodičích než v kovech. Polovodič se svými elektrickými vlastnostmi nachází mezi kovy a izolanty. Oproti kovům nejsou v polovodičích volné elektrony, ale velmi snadno se tam dají vytvořit ať už teplem nebo námi zmíněným dopadajícím slunečním zářením. Pro tento krok je nutné vytvořit takzvaný P-N přechod. Ten lze vysvětlit např. na křemíku, nejběžnějším polovodičovém materiálu. Křemík v tuhém stavu je tvořen mřížkou atomů, vzájemně spojených kovalentní vazbou. Křemíkové kovalentní vazby nejsou pevné. Z toho vyplývá, že k uvolnění elektronů z vazeb křemíku stačí dodat menší množství energie. Křemík má i při pokojové teplotě malé množství volných elektronů, které mají dostatečnou energii na uvolnění se z vazeb do neobsazeného vodivostního pásu. Díky tomu vede v malé míře proud. Křemík se stává více vodivý zvyšováním teploty a do vodivostního pásu se dostane více elektronů. Podobně je tomu i při osvětlení křemíku slunečním zářením.

Zvýšení vodivosti křemíku může nastat přidáním určitých příměsí. Zpravidla se jedná o fosfor či bor *Obr. 2*. Příměsí fosforu v křemíku vznikne polovodič typu N, s nadbytečnými elektrony. Fosfor má ve valenčním pásu 5 elektronů, ale s vazbou křemíku mohou být uplatněny pouze 4 elektrony. Obdobným přidáním boru vznikne polovodič typu P s přebytečnými dírami. Bor ukrývá ve valenčním pásu 3 elektrony. Jak z předchozích vět vyplývá, v polovodiči typu P je více děr a v polovodiči typu N dominují elektrony.

Spojením dvou typů vodičů vznikne P-N přechod a dojde k proniknutí elektronů do polovodiče typu P a děr do polovodiče typu N. Při přiblížení elektronu k díře dojde k rekombinaci nábojů. V polovodiči typu N zůstanou kladně nabitě náboje a v polovodiči typu P zůstanou záporné náboje. Vzniklé elektrické pole zastaví další difúzi a dojde

k přesunutí malého množství elektronů a děr jen v blízkosti P-N přechodu. V důsledku difúze je stejné množství elektronů přetaženo zpět působením elektrického pole a v blízkosti P-N přechodu nastane rovnováha. Díky tomuto procesu je výrazně snížena vodivost v oblasti P-N přechodu a vytvořen elektrický potenciál. Této vlastnosti je využíváno například u usměrňovacích diod, kdy na část P připojíme kladný pól zdroje, tam jsou elektrony odebírány, a na část N připojíme záporný pól zdroje, ze kterého elektrony vedou, tím se přechod P-N stane vodivým. V opačném případě, kdy na část N připojíme kladný pól zdroje a na část P záporný pól zdroje, dojde ke snížení elektronů v části N, přechodem P-N proud neprotéká.



Obr. 2 Struktura křemíku s příměsí fosforu (vlevo) a s příměsí boru (vpravo)

1.3 Vlastní fotovoltaický článek

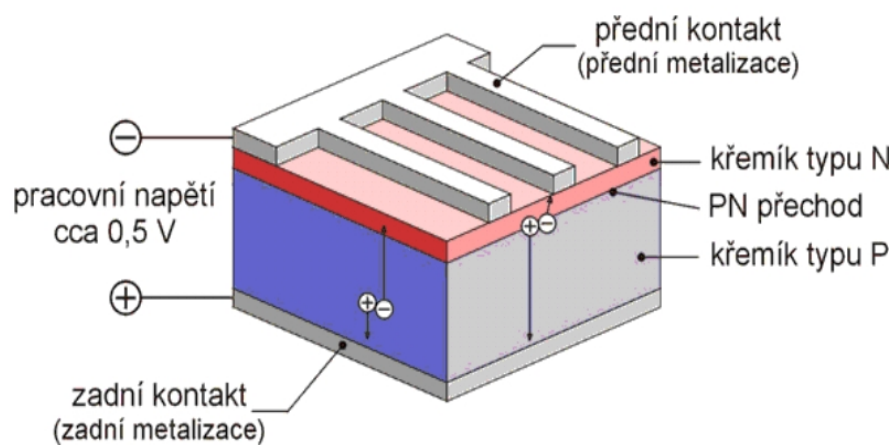
Zjednodušeně by bylo možné popsat FV článek jako velkoplošnou diodu, tvořenou tenkým plátkem křemíku, ve kterém je vytvořen P-N přechod opatřený vhodnými kovovými kontakty z obou stran. Při dopadání slunečního záření na povrch se generují volné elektrony a díry. Ty jsou odděleny elektrickým polem na povrchu P-N přechodu, elektrony jsou poslány do vrstvy typu N, na kterém se nachází záporný pól a díry do vrstvy typu P s kladným pólem.

Velikost výstupního napětí na fotovoltaickém článku Obr. 3 je dána materiálem polovodiče. V případě křemíku 0,65 V ovšem při zatížení článku toto napětí poklesne a výrobci při maximálním využití uvádějí napětí 0,5 V. V praxi je nutné tyto články spojit do série pro větší pracovní napětí (24 – 36 V).

Ve slunečním záření se nacházejí fotony s různými energiemi přibližně od 0,5 eV (IR) po 2,9 eV (UV), resp. čím kratší vlnová délka fotonu, tím vyšší je jeho energie. Na elektrony lze přeměnit jen část dopadajících fotonů, které dokáže „zpracovat“

daný FV článek. Křemíkový článek je schopen zpracovat fotony, které mají energii 1,1 eV a vyšší, což odpovídá záření o vlnové délce 1 100 nm a nižším.

Fotony s energií 1,1 eV a vyšší jsou využity pro křemíkový FV článek jen z části, respektive uvolní jeden elektron a zbytek fotonu se přemění na teplo. Z tohoto důvodu může být nejvyšší teoretický zisk nejvýše 55 % z celého slunečního záření. Reálný FV článek nabývá účinnosti zpravidla kolem 10 – 20 %.



Obr. 3 Schéma FV článku

2 Základní typy fotovoltaických článků

Vyvíjení fotovoltaických článků probíhá více než 50 let, díky tomu byla vyvinuta celá řada různých druhů těchto článků. Pro přehlednění jsou rozlišeny čtyři generace FV článků.

2.1.1 První generace

Dnes zatím nejrozšířenější druh fotovoltaických článků. Komerční využití nastalo v sedmdesátých letech 20. století. Jedná se o FV články vyrobené z monokrystalického křemíku, s vytvořeným velkoplošným P-N přechodem. Jejich výhodou je dobrá účinnost a stabilní výkon po dlouhou dobu. Nevýhodnou vlastností je potřeba velmi čistého a drahého křemíku a celková náročnost na jejich vlastní výrobu.

2.1.2 Druhá generace

V polovině osmdesátých let 20. století vedla snaha o snížení nákladů na výrobu článků k vytvoření tenkovrstvých článků. Ve druhé generaci dominují články z polykrystalického, mikrokrystalického i amorfního křemíku. Tyto články jsou znevýhodněné nižší, časem se zhoršující, účinností (v sériové výrobě pod 10 %). Vhodné využití těchto článků nastává v případech, kdy jsou kladeny vysoké nároky na pružnost a ohebnost. Například aplikace FV článku na část oblečení či batoh, ze kterých lze napájet mobilní telefon, vysílačku nebo jiné „kapesní“ periferie. To ocení zejména armáda.

2.1.3 Třetí generace

Sem jsou řazeny druhy FV článků, které k separaci nábojů používají jiné metody než články s P-N přechodem a mnohdy i jiné materiály, jako například fotogalvanické články, polymerní články. Uplatňují se také nanostruktury v podobě uhlíkových nanotrubiček či nanotyčinek nebo struktury vytvořené nanosením tzv. kvantových teček na vhodnou podložku. Tyto články poskytují výhodu v možnostech ovlivňování jejich optických i elektrických vlastností. FV články třetí generace nejsou zatím v praxi používány z důvodu nižší účinnosti a životnosti.

2.1.4 Čtvrtá generace

Do čtvrté generace je zařazen již komerčně běžně dostupný vícevrstvý FV článek využívající fotony v širším spektru slunečního záření. Další vrstvy článku umožňují zpracovat fotony vlnových délek, jež nedokáže využít a propustit vrstva první.

2.2 Dostupné typy fotovoltaických článků

Až 90 % dostupných FV článků je vyrobeno z křemíku. Je to dáno tím, že křemík má velmi dobré vlastnosti nejen ve FV, ale i v elektronice. V tomto odvětví je potřeba pracovat s čistým křemíkem, aby získal téměř ideální parametry. Takto použitý křemík má čistotu až 99,999999 % [1], tím je i vyšší jeho pořizovací cena.

Pro výrobu čistého křemíku je použit oxid křemičitý, který tvoří ¼ zemské kůry. Výroba téměř čistého křemíku se nejprve provede redukcí oxidu křemičitého uhlíkem v elektrické obloukové peci. Po tomto kroku se získá křemík o čistotě 98 - 99 %. Pro využití v elektronice ještě není dostačující, a proto se musí křemík převést na těkavou sloučeninu (trichlorsilan), která se vyčistí destilací a následně se přemění zpět na křemík, a sice rozkladem za vysokých teplot na zahřátém povrchu křemíkové tyče o průměru asi 8 mm, která zvětší svůj průměr díky vyloučenému křemíku. Výsledný vyloučený křemík dosahuje čistoty až 99,999999 %.

2.2.1 Monokrystalické křemíkové články

Monokrystalické (složené z jediného krystalu) křemíkové články *Obr. 4* jsou nejstarším typem FV článků, zařazují se do první generace. Jejich výroba probíhá z ingotů polykrystalického křemíku nejčastěji Czochralského metodou [7], neboli pomalým tažením zárodka krystalu z čistého křemíku. Ingoty se poté řežou speciální drátovou pilou na tenké plátky, tzv. Wafery, které se oříznou na požadovanou velikost FV článku. Plátky jsou zarovnané na rovnoměrnou tloušťku, vyleštěny a na povrchu odleptány pro odstranění nepravidelnosti a nečistoty. Následným přidáním fosforu se na povrchu vytvoří polovodičový přechod p-n s vodivostí typu n. Účinnost monokrystalů může dosahovat až k 21 %, ovšem průměrná účinnost se pohybuje okolo 15 – 17 %. Nevýhodou tohoto výrobního procesu jsou vyšší náklady na technické zpracování i energetické náročnosti. Jelikož se jedná o monokrystal, povrch článku je homogenně zbarvený do tmavomodré až černé barvy.

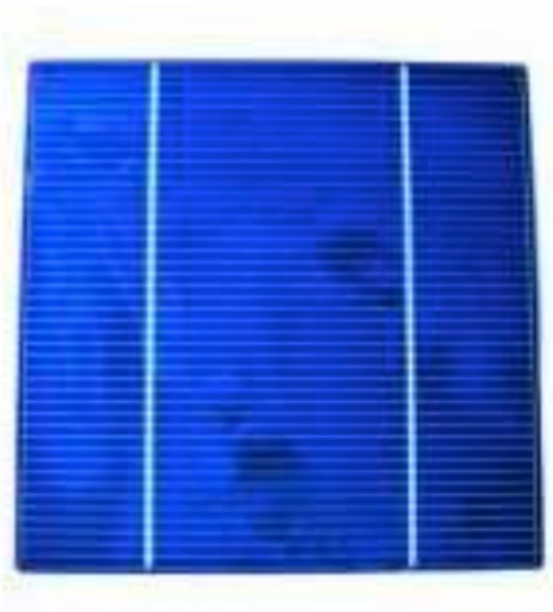


Obr. 4 Monokrystalický FV článek

Levnější varianta výrobního procesu je táhnutí monokrystalického pásku rovnou z taveniny křemíku (String Ribbon Silicon [4]). Tavenina křemíku je při tažení rovnou řezána dráty, které odolávají vysokým teplotám a výsledné pásy se dají mnohem lépe rozřezat na FV články s výrazně nižším množstvím odpadu. Jedná se o jednodušší variantu výrobního procesu a z použitého křemíku se oproti předchozí technologii dá vyrobit až dvojnásobné množství článků. Tato technologie má ale i nevýhody. Jednou z nich je nižší účinnost solárních článků (13 – 14 %).

2.2.2 Polykrystalické křemíkové články

K získání polykrystalického ingotu je použit jiný postup. Polykrystalické články *Obr. 5* jsou vyrobeny odlitím čistého křemíku do požadovaných forem a následně se vzniklé ingoty polykrystalického křemíku nechají nařezat na tenké plátky. Odlití je mnohem jednodušší oproti tažení monokrystalu. Pochopitelně touto technologií nelze docílit tak vysoké čistoty křemíku a vyrobené články mají horší vlastnosti včetně nižší účinnosti. Je to dáno tím, že na styku jednotlivých krystalů křemíku je větší odpor. Polykrystalické křemíkové články mají i zásadní výhodu v levnější dostupnosti výchozí suroviny, možnosti výroby ve větších rozměrech a vyšší výtěžnosti rozptýleného světla (za nepříznivých světelných podmínek). Dají se poznat podle modře se třpytící krystalické struktury. V dnešní době je cena polykrystalu téměř na stejné úrovni v porovnání s monokrystalem [8].



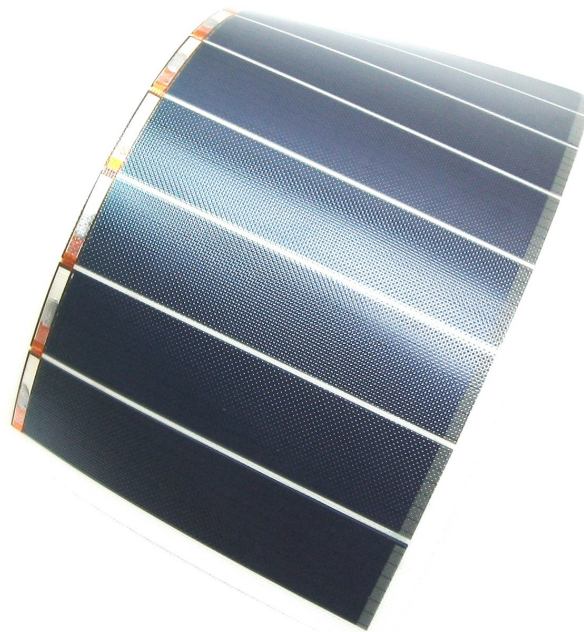
Obr. 5 Polykrytalický FV článek

2.2.3 Fotovoltaické články z amorfního křemíku (a-Si)

Amorfni křemík má strukturu neuspořádané sítě. Výroba se provádí chemickým odlučováním z plynného silanu nebo dichlorsilanu ve vodíkové atmosféře při teplotě 200 °C zpravidla na skleněných, nerezových nebo plastových podložkách. Takto dotovaný amorfni křemík má ale krátkou difúzní vzdálenost a došlo by snadno k rekombinaci volných nosičů náboje. Pro výrobu elektrického proudu amorfního FV článku *Obr. 6* je tedy nutné vložení vnitřní nedotované vrstvy mezi polovodiče P a N. V této vrstvě je absorbováno světlo a vytváří se náboje. Vrstvy polovodičů P a N vytvářejí elektrické pole, které uvolněné nosiče náboje oddělují, a proto se struktura výsledného FV článku nazývá P-I-N.

Výhoda spočívá ve vyšší absorpci světla, díky které se články mohou vyrábět ve velmi tenkých vrstvách i v ohebném provedení a mohou být aplikovány například našitím na oblečení. Nevýhodnou je klesající výkon v prvním roce (až o 15 %), který se časem stabilizuje, proto výrobci uvádějí hodnotu jmenovitého výkonu o zmíněných 15 % nižší, než je v počátečním stavu.

Účinnost fotovoltaických článků z amorfního křemíku se pohybuje okolo 7 %, respektive použitím vícevrstvých článků se zvýší až na 13 %.



Obr. 6 Amorfni FV článek

2.2.4 Mikromorfni solární články (μ -Si a a-Si)

Mikromorfni solární články Obr. 7 jsou složeny z mikrokystalické a amorfni křemíkové vrstvy. Při výrobě se postupuje podobně jako u amorfniho FV článku, kdy se na sklo nanese amorfni křemíková vrstva o tloušťce 0,3 μm . Odlišností od amorfniho článku je změna odlučovacích parametrů plazmy (teplota, tlak a mikrovlnná frekvence), a tím vznik monokystalické křemíkové vrstvy (μ -Si) o tloušťce 0,25 μm . Během tohoto procesu probíhá strukturování vrstev do pyramidového tvaru, které mají kladný dopad na elektrické i optické vlastnosti článku.

Výhody spočívají ve využití většího spektra slunečního záření. Oproti klasickým amorfniím článkům dosahují účinnosti přibližující se 11 % a počáteční degradaci podléhají minimálně.

Do budoucna je ještě potřeba vyřešit problémy například s proudovým přizpůsobením obou vrstev (μ -Si a a-Si), spektrální optimalizaci průhledné vrstvy TCO a optické vlastnosti zadního kontaktu.



Obr. 7 Mikromorfni FV článek

2.2.5 Solární články CIS (Copper-Indium-diSelenid, dvojselenid mědi-india)

Výroba CIS článků se provádí ve vakuové komoře při teplotě cca 500 °C. Nosné sklo je pokryto tenkou kontaktní vrstvou, následovanou absorpční vrstvou CIS s vodivostí typu p. Další vrstva s vodivostí typu n je sulfid kadmia, který omezuje ztráty způsobené v krystalové mřížce.

Články CIS *Obr. 8* disponují nejvyšší účinností v oblasti tenkovrstvých článků, která v praxi dosahuje až 11 %, v laboratorním výzkumu až 18 % [1]. Díky chemickým vlastnostem CIS nepodléhají časové degradaci vyvolané světlem, ale jsou náchylné na vyšší teploty a vlhkost. To může být ošetřeno kvalitním zapouzdřením.



Obr. 8 CIS FV článek

2.2.6 Solární články CdTe (Cadmium tellurid – články na bázi teluridu kademnatého)

CdTe články *Obr. 9* obdobně jako CIS články se řadí k vrcholu tenkovrstvých článků vzhledem k jejich účinnosti. Jsou poznat podle tmavozelené až černé lesknoucí se barvy. Výroba se provádí i v tomto případě ve vakuové komoře, při teplotě 700 °C, kdy probíhá vylučování polovodičových vrstev. Tato technologie je stále oblíbenější u velkých instalací.



Obr. 9 CdTe FV článek [6]

2.3 Nové technologie solárních článků

Výzkum a vývoj nových technologií se zaměřuje na dva důležité faktory – nižší náročnost výroby FV článků a vyšší účinnost přeměny fotonů na elektrickou energii. První faktor poukazuje na zefektivnění výrobního procesu (úspora materiálu, spotřeby energie a materiálu), druhým faktorem je snaha k docílení co nejvyšší účinnosti a využitelnosti FV článků. Lze očekávat, že budou přibývat další požadavky na FV, jako například ohebnost, tvar, zpracování a barva článků pro různé aplikace.

2.3.1 Vývoj technologie krystalického křemíku

V technologii krystalického křemíku je snaha FV články stále ztenčovat při zachování nebo dokonce zlepšení účinnosti. Na začátku komerční výroby monokrystalických FV článků dosahoval jeden článek tloušťky 0,3 mm, v dnešní době má jen 0,2 mm, z čehož plyne značná úspora drahého křemíku. Vývojoví pracovníci se snaží uvést do praxe monokrystal o tloušťce jen 30 – 60 μm .

2.3.2 Použití UMG křemíku.

Články z polykrystalického UMG křemíku (Upgraded Metallurgical Grade silicon – zušlechtěný hutnický křemík) se vyrábějí přímo z čištěného UMG křemíku. Tím se lze vyhnout procesu výroby čistého křemíku ve vysokoteplotních pecích, který je energeticky velmi náročný. Účinnost i degradace článků z polykrystalického UMG křemíku je jen o něco menší než články z normálního polykrystalického křemíku.

2.3.3 Vývoj technologie tenkovrstvých solárních článků

V této části se nejedná o vývoj, spíše o optimalizaci výrobní technologie a zlepšení účinnosti. Jak je uvedeno odstavci 2.2.4, provádí se optimalizace průchodu světla přední průhlednou elektrodou TCO a optické vylepšení vrstvy tvořící zadní kontakt.

Další pokusy se věnují přizpůsobení slunečního světla absorpčnímu spektru tak, že u vícevrstvých článků dochází k interferenci mezi vrstvami. Například vzniklý třívrstvý článek (triple junction) dosahuje účinnosti (13 %) a velmi dobré spektrální citlivosti.

2.3.4 Organické solární články

Solární článek je tvořen polovodičem oxidu titaničitého (titanová běloba). Tento článek oproti křemíku nepracuje na principu polovodičového p-n přechodu, ale absorbuje barvivo obdobně, jako rostliny získávají energii ze Slunce fotosyntézou za pomoci barviva chlorofylu. Tyto články by se mohly stát levnější alternativou křemíkové technologie. V laboratořích na malých člancích již byla dokázána účinnost 12 %.

Další technologií na bázi organických barviv byly vyrobeny články z umělé hmoty (polymery). Tyto články zkušebně dosahovaly účinnosti 5,5 % a s přibývajícím teplotou se účinnost ještě zvyšovala. Dokáží vyrábět energii i při malé intenzitě světla. Využití v budoucnosti je předpokládáno převážně v malých aplikacích (napájení malých domácích přístrojů).

Největší problém organických solárních článků představuje dlouhodobá stabilita. Po dvou letech se účinnost sníží téměř k nule. Prozatím jsou aplikace těchto článků v komerčním využití nevhodné.

3 Základní zapojení fotovoltaických systémů

Základní zapojení FV systémů se rozdělují na tři skupiny podle aplikačních požadavků FV panelů a umístění objektu.

3.1 Drobné aplikace

Drobné aplikace jsou nedílnou součástí komerčního využití FV systémů. Slouží k nabíjení malých zařízení, jako jsou mobilní telefony *Obr. 10*, přenosné počítače, akumulátory atd. Použití těchto systémů se stále rozrůstá s vyššími požadavky na přísun energie pro malá zařízení při pobytu v místech bez přístupu k napájení ze sítě.



Obr. 10 Kryt mobilního telefonu s dobíjením z FV článku

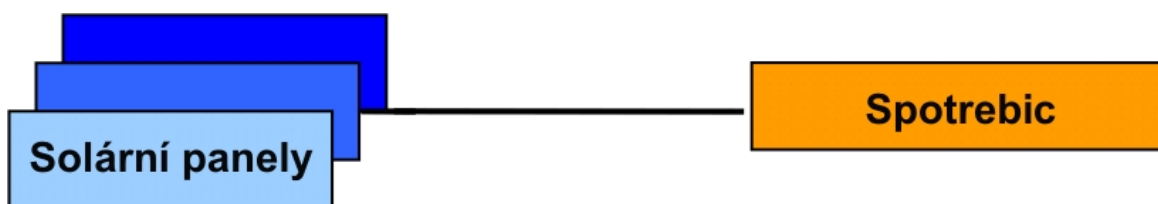
3.2 Ostrovní systémy (Off-grid)

Jak už název napovídá, elektrickou energii z ostrovních systémů lze využívat bez připojení k distribuční síti. Nejvíce se používá v místech, kde zákazník požaduje 230 V rozvody a DS přivedena není, nebo její vybudování k žádanému objektu by bylo finančně srovnatelné nebo i náročnější vůči pořízení FV systému.

Off-grid systémy jsou rozděleny do dvou skupin dle použití:

3.2.1 Systémy s přímým napájením

Tyto systémy *Obr. 11* jsou používány jen v případě, kdy je energie vyžadovaná v čase dostatečného slunečního záření. Příklad použití může být napájení čerpadla pro závlahu, nabíjení akumulátorů, atd.

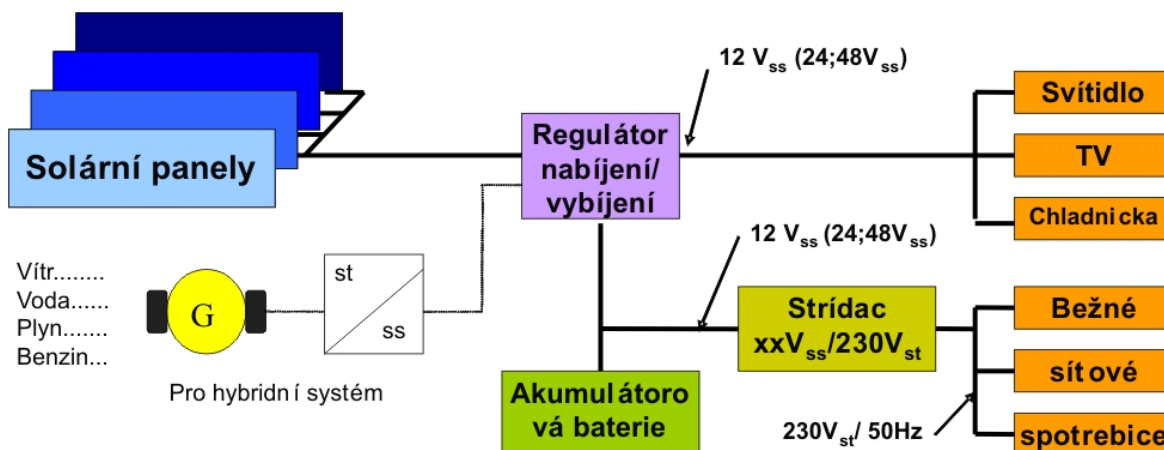


Obr. 11 Blokové schéma systému s přímým napájením [3]

3.2.2 Hybridní systémy a systémy s akumulací elektrické energie

Hybridní systémy Obr. 12 jsou používány v místech se značným celoročním provozem. FV systémy vyrobí mnohem méně elektrické energie v zimních měsících, kdy není dostatečné sluneční záření. Pro tato období je nutné navrhovat FV panely s vyšším instalovaným výkonem, což má za následek zvýšení pořizovacích nákladů. Ve většině případů off-grid systémů se používají tzv. záložní zdroje, jako například malá vodní či větrná elektrárna, elektrocentrála, kogenerační jednotka, ale jako záloha může sloužit i DS, nachází-li se v místě objektu.

Oblíbenější a dostupnější bývají systémy s možností akumulace elektrické energie. Zde je potřebný dostatečný instalovaný výkon FV panelů pro provoz veškerých zařízení v objektu a nabíjení akumulátorů, které napájí objekt v případě nedostatečné intenzity slunečního záření (nepříznivé počasí, noc). Optimální využití energie (dobíjení, vybíjení) akumulátoru je řízeno elektronickým regulátorem.

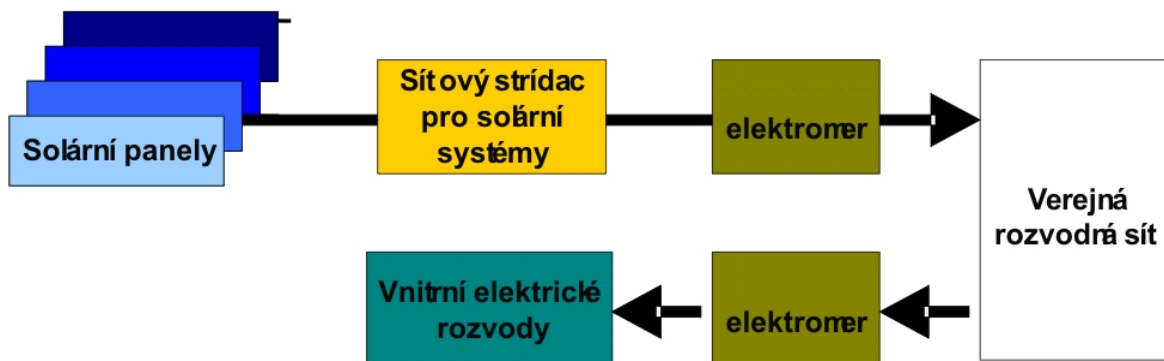


Obr. 12 Blokové schéma hybridního systému s akumulací energie [3]

3.3 Síťové systémy (On-grid)

Síťové systémy s připojením do distribuční sítě Obr. 13 představují nejpočetnější použití ze všech zapojení. Při vynikajícím slunečním záření se vyrobená energie používá primárně ke spotřebě v objektu zákazníka, případná přebytečná energie je dodávána do DS

(v řádech jednotek W až jednotek MW). Naopak při nedostatku slunečního záření se využívá energie z DS v částečném nebo plném rozsahu. Systém je plně automatizovaný a řízený mikroprocesory pro využití maximální energie z FV panelů. Aplikace on-grid systémů podléhá schvalovacímu procesu.



Obr. 13 Blokové schéma síťového systému [3]

4 Posuzovaný příklad základního zapojení fotovoltaického systému

V následujícím textu je popsána reálná instalace menšího fotovoltaického systému o jmenovitém výkonu 3 kWp. FV panely jsou umístěné na jižní straně střechy pod téměř ideálním sklonem střechy, tj. 34° [9]. Tato instalace je aplikována na nejmenovaném rodinném domě umístěném v Plzeňském kraji.

4.1 Princip zapojení

Montáž FV systému byla provedena ve druhém kvartále roku 2010. Na projekt byla čerpána dotace za vyrobenou energii, tzv. Zelený bonus. Aby bylo možné „obchodovat“ s elektrickou energií, je systém zapojený shodně s blokovým schématem grid-on *Obr. 13*.

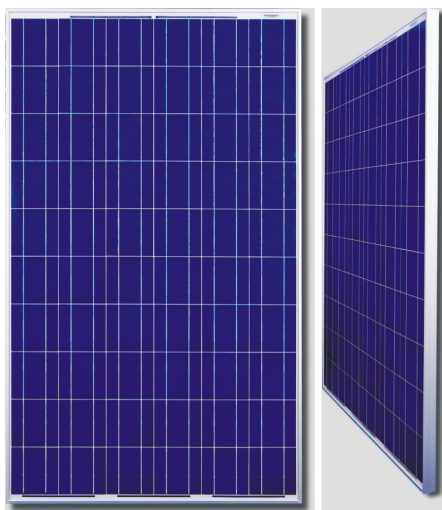
4.1.1 Použité základní komponenty

Pro výrobu elektrické energie ze slunečního záření s nejvyšší efektivitou je nezbytné zvolení požadovaných komponentů. Důležitá je správná volba FV panelů dle umístění, předpokladů vlastností dopadajícího slunečního záření (zastínění panelů, proměnlivá intenzita dopadajícího světla podle počasí), napěťových střídačů na požadované napětí (v ČR ~ 230 V) a jmenovitého instalovaného výkonu (měniče je nutné pořizovat mírně naddimenzované). Příslušenství pro instalaci (držáky FV panelů, elektroinstalační materiál) jsou voleny vždy v konkrétním konstrukčním provedení.

a) FV panely

U posuzovaného příkladu FV systému přeměňuje sluneční záření 16 FV panelů od výrobce CanadianSolar model CS6P 240P *Obr. 14*. Jedná se o panel složený z 60 (6 x 10) polykrystalických fotovoltaických článků, zapouzdřených mezi skleněnými robustně orámovanými deskami. Jejich aplikace je doporučena pro on-grid systémy. Výrobce uvádí zatížení panelů tlakem až 5 400 Pa, tím je výrazně nižší pravděpodobnost poškození panelů v zimních měsících. CanadianSolar poskytuje 6 let záruční lhůtu na materiál

a zpracování a 25 let záruky poskytovaného výstupního výkonu modulu. Specifikace jsou v tabulkách *Tab. 1 a 2*.



Obr. 14 Solární panel CS6P [14]

Technický údaj		Hodnota
Jmenovitý výkon při STC (P_{\max})		240 W
Optimální pracovní napětí (V_{mp})		29,9 V
Optimální pracovní proud (I_{mp})		8,03 A
Napětí na výstupu „naprázdno“ (V_{oc})		37 V
Proud na výstupu „nakrátko“ (I_{sc})		8,59 A
Pracovní teplota		- 40 °C ~ + 85 °C
Maximální napětí systému		1000 V
Nejvyšší sériové jištění		15 A
Tolerance výkonu		+ 5 W
Teplotní koeficient	P_{\max}	- 0,43 %/°C
	V_{oc}	- 0,34 %/°C
	I_{sc}	0,065 %/°C

Tab. 1 Elektrické údaje [14]

Technický údaj	Hodnota
Typ FV článku	Polykrystalický
Počet FV článků v panelu	60 (6 x 10)
Rozměry	1638 x 982 x 40 mm
Hmotnost	20 kg
Přední kryt	Tvrzené sklo
Orámování	Eloxovaná slitina hliníku

Tab. 2 Mechanické údaje [14]

b) Napěťový střídač

Na vyobrazeném příkladu bylo podmínkou najít ideální napěťový střídač, který nepodléhá složité instalaci, snadno se ovládá, přehledně poskytuje měřené údaje a vyhovuje zadaným parametrům instalace. Zvolený typ napěťového střídače vznikl ve firmě Fronius International GmbH a jedná se o model Fronius IG 30 *Obr. 15*.

Fronius IG 30 se chlubí různými vlastnostmi od měření spotřeb, přes modulové rozšíření, po vynikající bezpečnost při používání. Pro posuzovanou instalaci se jedná o velmi dobrou volbu výběru. Technické údaje střídače napětí jsou uvedeny v tabulkách *Tab. 3 a 4*.



Obr. 15 Napěťový střídač IG 30 [15]

Technický údaj	Hodnota
Doporučený připojovací výkon	2500 – 3600 Wp
Rozsah napětí MPP	150 – 400 V
Maximální vstupní proud	19 A
Jmenovitý výstupní výkon	2,5 kW
Maximální výstupní výkon	2,65 kW
Jmenovité napětí	230 V, + 10 / -15%
Jmenovitý výstupní proud	10,9 A
Jmenovitá frekvence	50 +/- 0,2 Hz
Činitel zkreslení	< 3%
Účinnost	1

Tab. 3 Vstupní a výstupní údaje [15]

Technický údaj	Hodnota
Maximální účinnost	94,3 %
Vlastní spotřeba v noci	0,15 W
Vlastní spotřeba v provozu	7 W
Chlazení	Řízené nucené větrání
Krytí vnitřního/vnějšího pláště	IP 21 / IP 45
Rozměry vnitřního/vnějšího pláště	366 x 344 x 220 mm / 500 x 435 x 225 mm
Hmotnost vnitřního/vnějšího pláště	9 / 13 kg
Přípustná teplota okolního vzduchu	- 20 - + 50 °C při 95% relativní vlhkosti vzduchu

Tab. 4 Všeobecné údaje [15]

c) Ostatní příslušenství

Nezanedbatelnou součástí instalace fotovoltaického systému jsou různé elektroinstalační materiály, držáky, stojany a různá uchycení pro konstrukční řešení instalace. Ty jsou voleny již na míru dle požadavků investora, zda budou FV panely umístěny na střeše objektu či vedle něho, vzdálenosti vedení kabelových svazků a přichycení komponentů k objektu.

4.2 Dotace

Kdyby bylo financování malých solárních elektráren dotováno pouze provozovatelem bez podpory státních či evropských fondů, pořízení elektrárny by nebylo perspektivní v takovém procentu jako s podpůrnými finančními prostředky. Dotací lze využívat převážně v zapojení typu grid-on, a tím je zajištěna možnost odkupu vyrobené energie místním distributorem. Odkup energie není automatický a podléhá složitým schvalovacím procesům.

4.2.1 Přímý výkup

V této variantě je všechna energie z FV systému prodána distributorovi s cenou platnou v době připojení FVE do distribuční sítě. Výhodou přímého výkupu je garance cen na 20 let od pořízení FV systému. K ceně je každým rokem připočtená tzv. inflační doložka, stanovená na max. 5 % ročně.

4.2.2 Zelený bonus

Zelený bonus [12] je dotační program, ve kterém provozovatel distribuční soustavy přispívá k tržní ceně elektřiny. Vyrobenou energii může investor spotřebovat částečně nebo celou pro své účely. Tímto programem investor inkasuje od provozovatele distribuční soustavy zelený bonus ve formě finančního příspěvku na základě doložené informací o výrobě, vlastní spotřebě a dodání energie do DS.

Tržní ceny energií, výši přímého výkupu a zeleného bonusu stanovuje ERÚ každým rokem v listopadu s platností od prvního dne následujícího roku.

4.3 Výroba FV energie a spotřeba investorem

V následujících tabulkách a grafech jsou vyobrazena data vyrobené energie u posuzovaného objektu se zobrazením množství energie spotřebované investorem a energie dodané do DS.

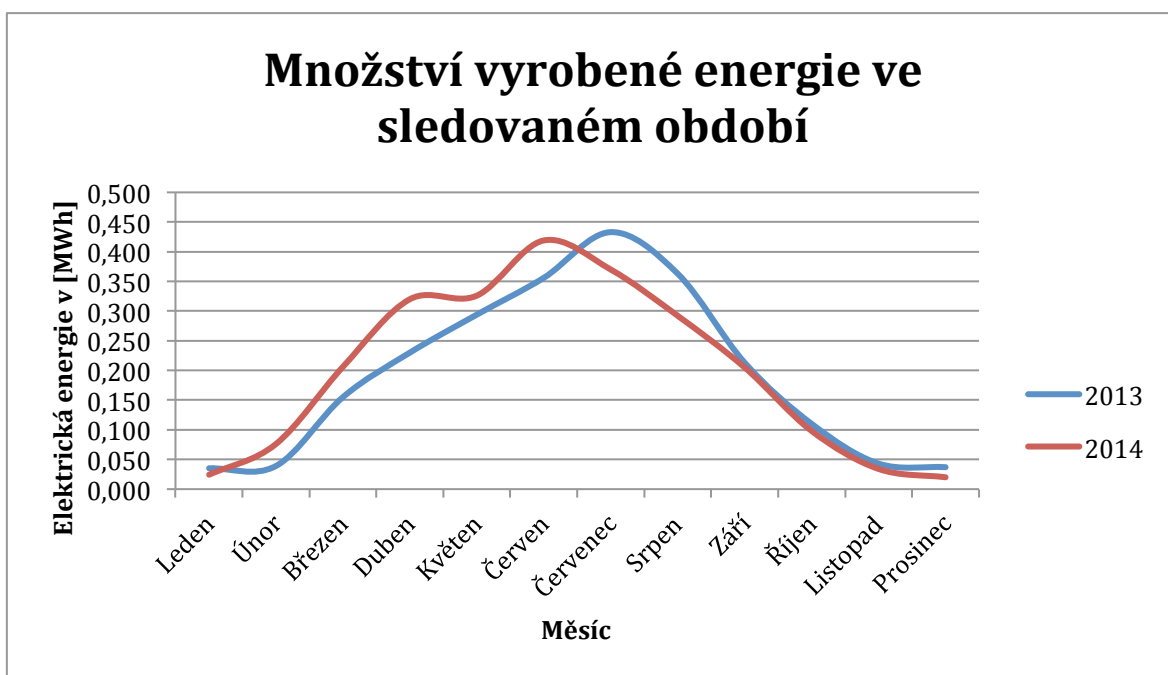
4.3.1 Vyrobená elektrická energie

Rok	Měsíc	Vyrobená energie [MWh]	Rok	Měsíc	Vyrobená energie [MWh]
2013	Leden	0,035	2014	Leden	0,024
	Únor	0,039		Únor	0,076
	Březen	0,155		Březen	0,206
	Duben	0,230		Duben	0,320
	Květen	0,294		Květen	0,326
	Červen	0,356		Červen	0,419
	Červenec	0,433		Červenec	0,370
	Srpen	0,363		Srpen	0,292
	Září	0,213		Září	0,205
	Říjen	0,110		Říjen	0,098
	Listopad	0,043		Listopad	0,034
	Prosinec	0,037		Prosinec	0,020

Tab. 5 Vyrobená energie za sledované období

V tabulce *Tab. 5* se uvádí celkově vyrobená elektrická energie za roky 2013 a 2014. V těchto letech bylo vyrobeno 2 308 MWh v roce 2013 a 2 390 MWh v roce 2014.

Data v grafu *Graf 1* znázorňují množství energie v průběhu jednotlivých měsíců roků 2013 a 2014. Tyto údaje budou následně použity pro zhodnocení ekonomického hlediska výstavby fotovoltaického systému v posuzovaném příkladu.



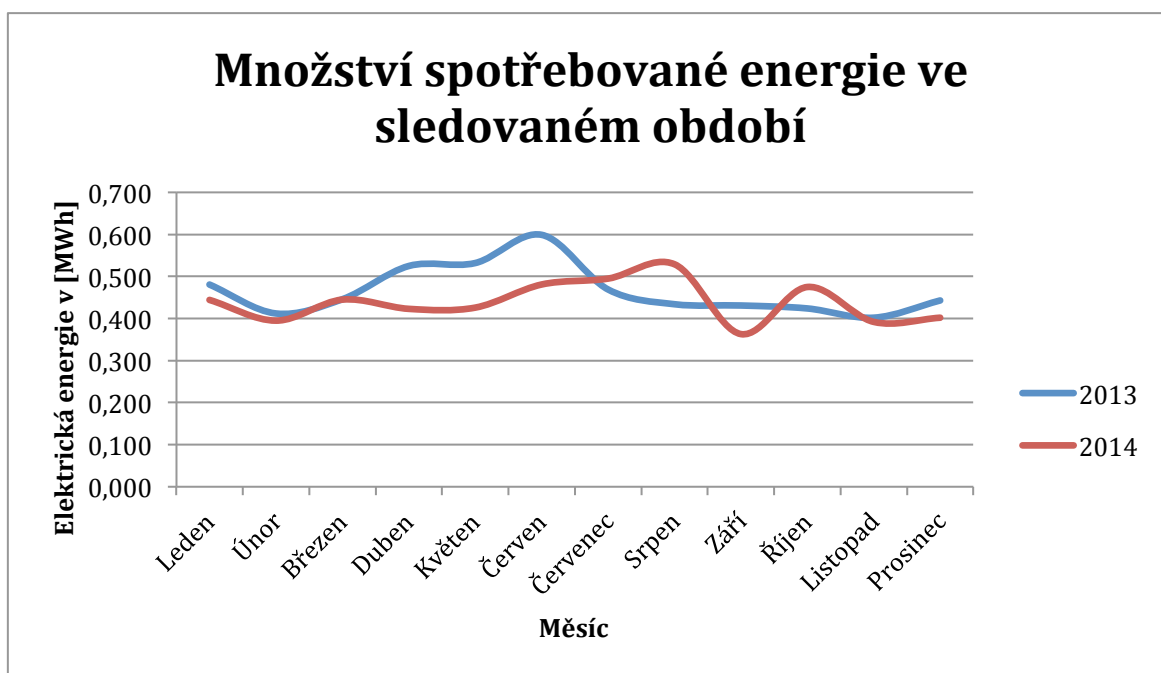
Graf 1 Vyrobená energie z FV

4.3.2 Spotřebovaná energie investorem v letech 2013 – 2014

Rok	Měsíc	Vyrobená energie [MWh]	Rok	Měsíc	Vyrobená energie [MWh]
2013	Leden	0,481	2014	Leden	0,445
	Únor	0,412		Únor	0,395
	Březen	0,446		Březen	0,445
	Duben	0,525		Duben	0,423
	Květen	0,532		Květen	0,426
	Červen	0,599		Červen	0,481
	Červenec	0,469		Červenec	0,495
	Srpen	0,434		Srpen	0,529
	Září	0,431		Září	0,363
	Říjen	0,424		Říjen	0,475
	Listopad	0,402		Listopad	0,392
	Prosinec	0,443		Prosinec	0,402

Tab. 6 Spotřebovaná energie za sledované období

Tabulka Tab. 6 vypisuje data spotřeb elektrické energie investorem za sledované roky 2013 a 2014. Spotřebovaná energie za rok 2013 činí 5 598 MWh a za rok 2014 činí 5 271 MWh. V grafu Graf 2 je zakreslen průběh spotřeby v jednotlivých měsících roků 2013 a 2014.



Graf 2 Energie spotřebovaná investorem v MWh

4.4 „Přímý výkup“ nebo „Zelený bonus“?

Pro správnou volbu finančního vynaložení FV systému se v nadcházejícím textu kalkulují dvě možnosti odkupu elektrické energie ze slunečního záření. V první variantě je zhodnocený přímý výkup. V tomto případě, jak je zmíněno výše, veškerá energie z FV je prodána do DS. Ve druhé variantě, se zeleným bonusem, se energie rozděluje na část dodanou do DS a druhou část spotřebovanou investorem.

a) Kalkulace přímého výkupu

Rok	Cena za 1 MWh	Cena za jistič/měsíc	Systémové služby za 1 MWh	Výkupní cena za 1 MWh
2013	4 946,86 Kč	133,10 Kč	159,95 Kč	13 005,00 Kč
2014	4 264,00 Kč	137,94 Kč	144,29 Kč	13 265,00 Kč

Tab. 7 Ceny služeb dle [10] a [11]

Tabulka Tab. 8 zhodnocuje výsledný součet částky investora při použití cen služeb od distributora Tab. 7. Tyto ceny poskytoval distributor skupiny ČEZ.

Měsíc, rok	Spotřeba z DS	Prodej do DS	Výsledné vyrovnání
Leden 2013	2 512,54 Kč	449,58 Kč	2 062,96 Kč
Únor 2013	2 171,21 Kč	500,96 Kč	1 670,25 Kč
Březen 2013	2 339,40 Kč	1 990,98 Kč	348,42 Kč
Duben 2013	2 730,20 Kč	2 954,36 Kč	-224,16 Kč
Květen 2013	2 764,83 Kč	3 776,44 Kč	-1 011,62 Kč
Červen 2013	3 096,27 Kč	4 572,84 Kč	-1 476,57 Kč
Červenec 2013	2 453,18 Kč	5 561,91 Kč	-3 108,73 Kč
Srpen 2013	2 280,04 Kč	4 662,75 Kč	-2 382,72 Kč
Září 2013	2 265,20 Kč	2 736,00 Kč	-470,80 Kč
Říjen 2013	2 230,57 Kč	1 412,96 Kč	817,61 Kč
Listopad 2013	2 121,74 Kč	552,34 Kč	1 569,40 Kč
Prosinec 2013	2 324,56 Kč	475,27 Kč	1 849,29 Kč
Leden 2014	2 035,42 Kč	314,90 Kč	1 720,52 Kč
Únor 2014	1 822,22 Kč	997,17 Kč	825,05 Kč
Březen 2014	2 035,42 Kč	2 702,87 Kč	-667,45 Kč
Duben 2014	1 941,61 Kč	4 198,63 Kč	-2 257,02 Kč
Květen 2014	1 954,40 Kč	4 277,35 Kč	-2 322,95 Kč
Červen 2014	2 188,92 Kč	5 497,58 Kč	-3 308,65 Kč
Červenec 2014	2 248,62 Kč	4 854,66 Kč	-2 606,04 Kč
Srpen 2014	2 393,60 Kč	3 831,25 Kč	-1 437,65 Kč
Září 2014	1 685,77 Kč	2 689,75 Kč	-1 003,97 Kč
Říjen 2014	2 163,34 Kč	1 285,83 Kč	877,51 Kč
Listopad 2014	1 809,43 Kč	446,10 Kč	1 363,32 Kč
Prosinec 2014	1 852,07 Kč	262,41 Kč	1 589,65 Kč
Součet	53 420,55 Kč	61 004,87 Kč	-7 584,33 Kč

Tab. 8 Kalkulace cen přímého výkupu

V tabulkách *Tab. 8 a 10* představuje záporný výsledek (označený zelenou barvou) přeplatek ve prospěch investora a kladný výsledek (označený červenou barvou) představuje doplatek ve prospěch distributora.

Výsledný součet poukazuje na cenové vyrovnání s přeplatkem 7 584,33 Kč ve prospěch investora. Úspora oproti běžné spotřebě bez použití FV systému dosáhla 61 004,87 Kč za 2 roky.

b) Kalkulace zeleného bonusu

Rok	Cena za 1 MWh	Cena za jistič/měsíc	Systémové služby za 1 MWh	Cena ZB za 1 MWh	Podpora výkupu za 1 MWh
2013	4 946,86 Kč	133,10 Kč	159,95 Kč	12 455,00 Kč	705,43 Kč
2014	4 264,00 Kč	137,94 Kč	144,29 Kč	12 665,00 Kč	598,95 Kč

Tab. 9 Ceny služeb dle [10] a [11]

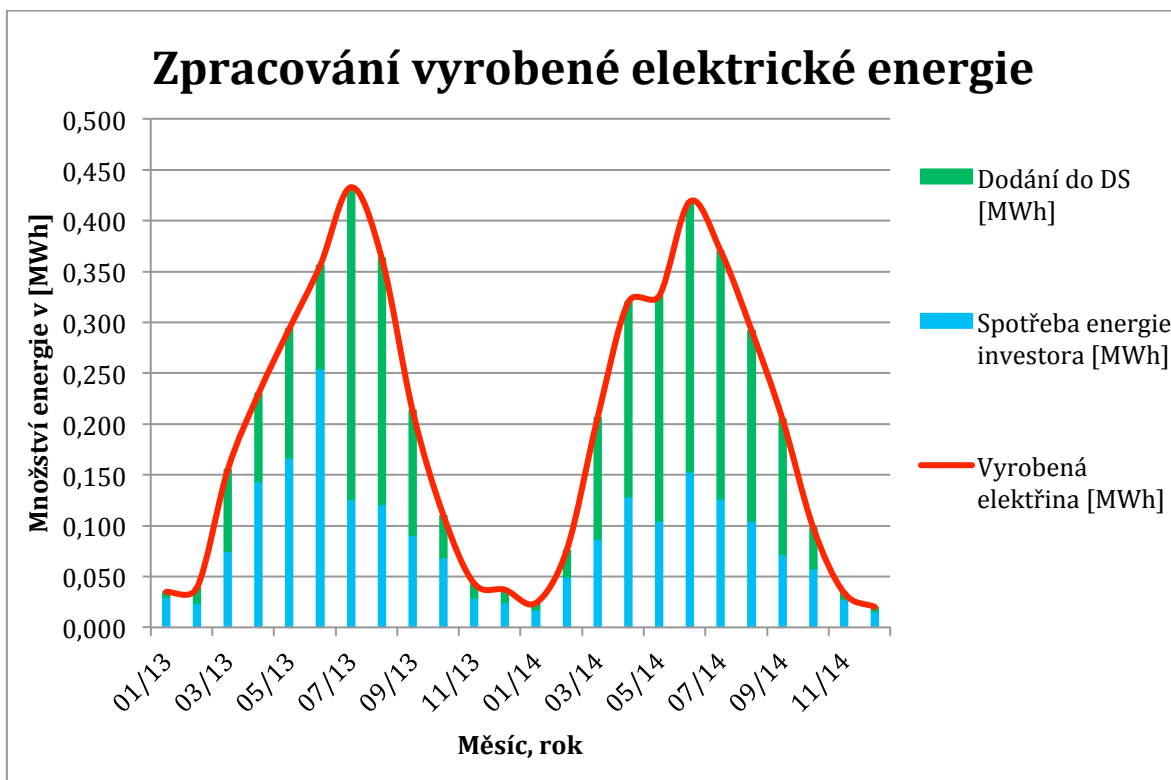
V tomto případě je výsledné vyrovnání vypočteno následně: Ze sloupce „Spotřeba z DS“ jsou odečteny vypočítané částky „Prodej do DS“ a „Zelený bonus“.

Měsíc, rok	Prodej do DS	Spotřeba z DS	Zelený bonus	Výsledné vyrovnání
Leden 2013	3,53 Kč	2 364,13 Kč	430,33 Kč	1 930,28 Kč
Únor 2013	10,58 Kč	2 052,48 Kč	479,51 Kč	1 562,39 Kč
Březen 2013	56,43 Kč	1 968,39 Kč	1 905,73 Kč	6,22 Kč
Duben 2013	60,67 Kč	2 017,85 Kč	2 827,86 Kč	-870,67 Kč
Květen 2013	89,59 Kč	1 938,70 Kč	3 614,74 Kč	-1 765,63 Kč
Červen 2013	71,25 Kč	1 834,82 Kč	4 377,04 Kč	-2 613,47 Kč
Červenec 2013	216,57 Kč	1 829,87 Kč	5 323,76 Kč	-3 710,45 Kč
Srpen 2013	170,71 Kč	1 681,47 Kč	4 463,10 Kč	-2 952,35 Kč
Září 2013	86,06 Kč	1 815,03 Kč	2 618,85 Kč	-889,88 Kč
Říjen 2013	28,92 Kč	1 889,24 Kč	1 352,46 Kč	507,86 Kč
Listopad 2013	9,88 Kč	1 978,28 Kč	528,69 Kč	1 439,72 Kč
Prosinec 2013	8,47 Kč	2 200,89 Kč	454,92 Kč	1 737,51 Kč
Leden 2014	4,19 Kč	1 962,93 Kč	300,50 Kč	1 658,24 Kč
Únor 2014	15,57 Kč	1 609,02 Kč	951,57 Kč	641,87 Kč
Březen 2014	71,28 Kč	1 664,45 Kč	2 579,27 Kč	-986,09 Kč
Duben 2014	114,40 Kč	1 391,56 Kč	4 006,63 Kč	-2 729,47 Kč
Květen 2014	132,37 Kč	1 506,68 Kč	4 081,75 Kč	-2 707,44 Kč
Červen 2014	159,32 Kč	1 536,53 Kč	5 246,18 Kč	-3 868,97 Kč
Červenec 2014	145,54 Kč	1 707,09 Kč	4 632,66 Kč	-3 071,12 Kč
Srpen 2014	112,00 Kč	1 945,88 Kč	3 656,05 Kč	-1 822,17 Kč
Září 2014	79,66 Kč	1 378,76 Kč	2 566,75 Kč	-1 267,64 Kč
Říjen 2014	23,96 Kč	1 916,03 Kč	1 227,03 Kč	665,04 Kč
Listopad 2014	3,59 Kč	1 690,04 Kč	425,70 Kč	1 260,74 Kč
Prosinec 2014	2,40 Kč	1 783,84 Kč	250,41 Kč	1 531,03 Kč
Součet	1 676,94 Kč	43 663,97 Kč	58 301,47 Kč	-16 314,44 Kč

Tab. 10 Kalkulace cen se zeleným bonusem

Ve variantě se zeleným bonusem je dle *Tab. 10* finanční úspora vyšší. Investorovi je vyplacena částka 16 314,44 Kč. V tomto případě je úspora financí 69 734,99 Kč za 2 roky oproti případu bez investování prostředků do FV systému.

Tento finanční model je založen na reálných spotřebách energií včetně množství dodání energie do DS a vlastní spotřebou investorem. Průměrné množství energie dodané tvoří 45,65 % z celkově vyrobené energie fotovoltaickou elektrárnou *Graf 3*.



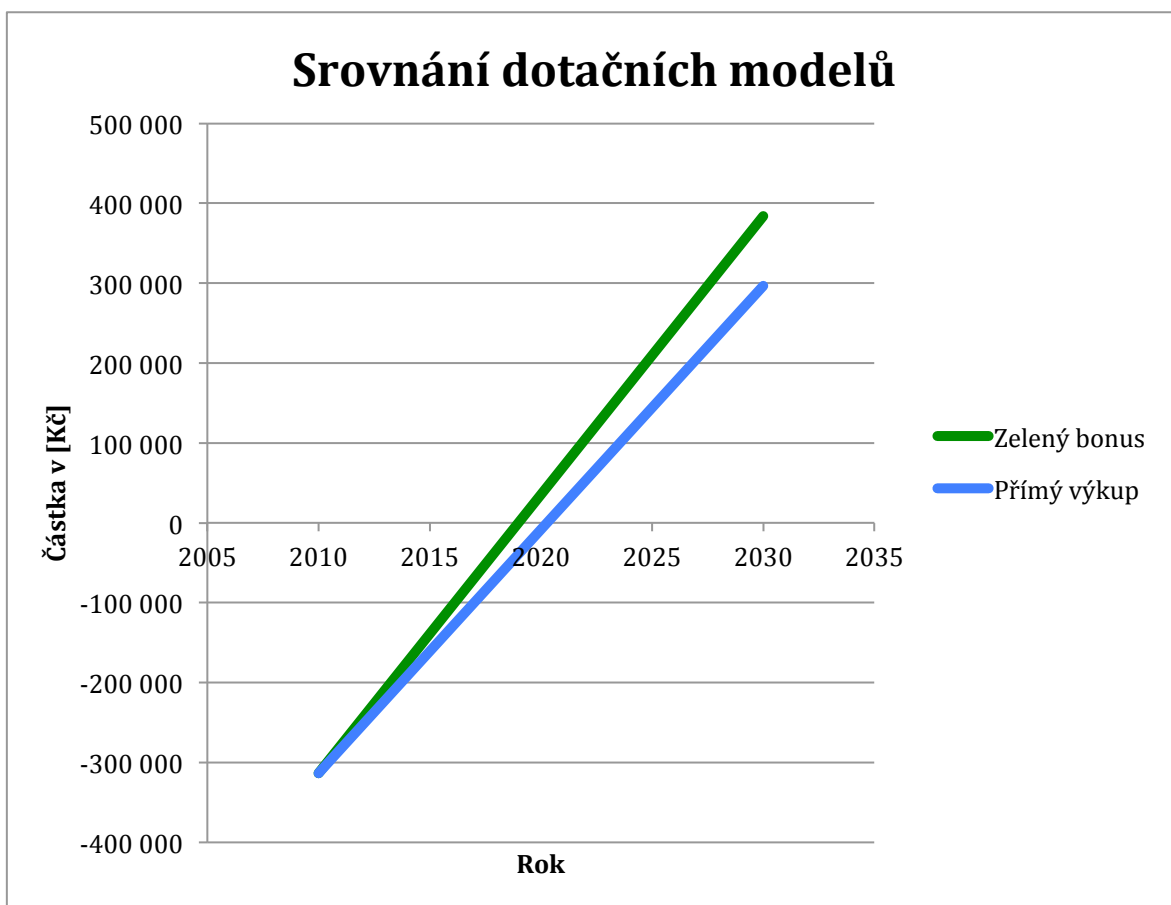
Graf 3 Zpracování vyrobené elektrické energie z FV systému

4.5 Ekonomické zhodnocení

Instalace zmiňovaného fotovoltaického systému stálo investora 313 421,00 Kč. Tato částka je konečná za kompletní systém včetně montáže *Tab. 11*. S použitím hodnot výroby, spotřeby elektrické energie a jejich zprůměrováním budou vypočítané dva dotační modely. Z výsledných výpočtů investor zhodnotí jemu vyhovující variantu dotace.

Komponenty	Počet	Cena za ks	Cena celkem
Polykrystalický fotovoltaický panel CS6P 240P	14,00	13 499,00 Kč	188 986,00 Kč
Napěťový měnič Fronius IG 30	1,00	87 400,00 Kč	87 400,00 Kč
Držáky k uchycení panelů na střechu	14,00	2 354,00 Kč	32 956,00 Kč
Elektroinstalační materiál	1,00	3 420,00 Kč	3 420,00 Kč
Konstrukční příslušenství	1,00	659,00 Kč	659,00 Kč
Součet			313 421,00 Kč

Tab. 11 Fakturovaný seznam komponentů



Graf 4 Srovnání dotačních modelů

Srovnání modelů přímého výkupu a zeleného bonusu je orientačně znázorněno v průběhu 20 let od roku výstavby, tj. 2010 Graf 4. Modrá přímka znázorňuje úsporu financí při zapojení do programu s přímým výkupem elektrické energie, zelená přímka zobrazuje zelený bonus. Z tohoto grafu vyplývá, že zelený bonus je v současné době výhodnější. Reálné hodnoty se mohou lišit o inflační položku. U přímého výkupu jsou ceny garantované na 20 let, kdežto u zeleného bonusu se s dalším rokem mohou skokově změnit. ERÚ uvádí informaci, že majitel může vždy maximálně jednou za rok změnit daný program.

4.6 Ekologické zhodnocení

V rámci ekologického zhodnocení je pořízení fotovoltaické elektrárny jednoznačně kladně posuzováno. Oproti elektrárnám na fosilní paliva neprodukuje FV elektrárna do ovzduší emise a neovlivňuje životní prostředí. Nejen z tohoto důvodu je tento obnovitelný zdroj energie pro lidstvo přínosný ve velkém měřítku, a tím i její využití.

5 Závěr

Pro rozhodnutí pořízení FV systému vede cesta plná možností. První takové rozhodnutí spočívá na investorovi, jaký způsob zapojení požaduje a jakou částku bude investovat. S plánováním je nezbytné počítat, jaký druh FV panelu investor pořídí, aby byl nejvhodnější v místě plánovaného projektu. Důležitý je mimo jiné správný výběr napěťového měniče a veškerého potřebného příslušenství. Takový projekt je dobré nechat vypracovat odbornou firmou, která zároveň vytvoří orientační model finančního zhodnocení investic.

Zhodnocení FV systému uvedeného v této bakalářské práci poukazuje na investici vhodnou pro daný objekt. Investorem vložená částka 313 421,00 Kč je zaplacená po 8 letech produkce uvedeného FV systému. Při dodávaném výkonu po dobu 20 let (doba trvání dotačního programu) se investice zhodnotí více než 1,2 násobkem vložené částky. Toho zhodnocení platí v případě zařazení do programu zeleného bonusu. Použitím přímého výkupu by FV systém byl splacen o 2 roky později a po 20 letech produkce by zhodnocené investice nedosahovaly 1 násobku vložené částky.

Výsledkem hodnocení instalovaného FV systému jsou kladné stránky nejen z oboru ekonomického, ale i ekologického. Nainstalované FV panely vyrobí přibližně 2,349 MWh za 1 rok, a tím ročně ušetří až 3 030,21 kg skleníkového plynu CO₂ ze stejného množství vyrobené energie - na rozdíl od elektrárny na fosilní paliva [13]. Z toho vyplývá, že používání více obnovitelných zdrojů energie spěje k celkovému zlepšení životního prostředí.

Seznam literatury

- [1] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. Fotovoltaika: elektřina ze slunce. 2. vyd. Brno: ERA, 2008, VII, 81 s. 21. století. ISBN 978-80-7366-133-5.
- [2] HASELHUHN, Ralf. Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2011, 176 s. ISBN 978-80-86167-33-6
- [3] CZECH RE AGENCY, O.P.S., Fotovoltaika pro každého [online]. Dostupný na WWW: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika>
- [4] ELEKTRONICKÁ ENCIKLOPEDIA WIKIPEDIA. String ribbon [online]. Dostupný na WWW: http://en.wikipedia.org/wiki/String_ribbon
- [5] ELEKTRONICKÁ ENCIKLOPEDIA WIKIPEDIA. Photoelectric effect [online]. Dostupný na WWW: http://en.wikipedia.org/wiki/Photoelectric_effect
- [6] ELEKTRONICKÁ ENCIKLOPEDIA WIKIPEDIA. Solární článok z teluridu kademnatého [online]. Dostupný na WWW: http://sk.wikipedia.org/wiki/Solárny_článok_z_teluridu_kademnatého
- [7] ELEKTRONICKÁ ENCIKLOPEDIA WIKILEDIA. Czochralského metoda [online]. Dostupný na WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Czochralského_metoda
- [8] JOYCE ČR, s.r.o., Jaký je rozdíl mezi monokrystalickým a polykrystalickým panelem? [online]. Dostupný na WWW: http://www.joyce-energie.cz/files/joyce-energie.cz/files/Mono_poly_rozdl.pdf
- [9] TZB-INFO, Optimální orientace a sklon fotovoltaických panelů [online]. Dostupný na WWW: <http://oze.tzb-info.cz/114865-optimalni-orientace-a-sklon-fotovoltaickych-panelu>
- [10] ČEZ Prodej, s.r.o., Ceník elektřiny skupiny ČEZ [online]. Dostupný na WWW: <http://www.cez.cz/cs/ke-stazeni/ceniky/elektrina.html>
- [11] ERÚ, Energetický regulační věstník [online]. Dostupný na WWW: <http://www.eru.cz/cs/poze/cenova-rozhodnuti/platna-cenova-rozhodnuti>
- [12] www.solarniproud.cz, Zelený bonus jak funguje [online]. Dostupný na WWW: <http://solarnienergie-cz.webnode.cz/zeleny-bonus-jak-funguje/>
- [13] IAEA, International Atomic Energy Agency [online]. Dostupný na WWW: <https://www.iaea.org/>
- [14] CANADIANSOLAR, Technická data [online]. Dostupný na WWW: <http://www.canadiansolar.com>
- [15] FRONIUS, Technická data [online]. Dostupný na WWW: <http://www.fronius.com/>