

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Návrh fotovoltaického systému pro zásobování
rodinného domu TUV**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Gabriela TŘÍSKOVÁ**
Osobní číslo: **E14N0054P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Návrh fotovoltaického systému pro zásobování rodinného domu TUV**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Analyzujte možnosti energetického využití slunečního záření.
2. Popište fotovoltaické systémy, jejich druhy, vlastnosti a uspořádání.
3. Navrhněte fotovoltaický systém pro ohřev TUV v konkrétním rodinném domě.
4. Zhodnoťte navržený systém z hlediska ekonomického, energetického a ekologického.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

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

Vedoucí diplomové práce: **Prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2015**
Termín odevzdání diplomové práce: **16. května 2016**


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




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

Abstrakt

Diplomová práce předkládá návrh fotovoltaického systému pro zásobování rodinného domu teplou užitkovou vodou. Vysvětluje přeměnu slunečního záření a možnosti jeho energetického využití. Seznamuje s principem, výrobou a použitím fotovoltaických článků. Uvádí rozdělení, vlastnosti, realizaci a konstrukční řešení fotovoltaických systémů. Hlavním přínosem je samotný návrh fotovoltaického systému pro konkrétní rodinný dům. Závěrečná část porovnává dva navržené fotovoltaické systémy z hlediska energetického, ekonomického a ekologického.

Klíčová slova

Sluneční záření, solární energie, fotovoltaický článek, fotovoltaický panel, ohřev TUV.

Abstract

The thesis presents the project of photovoltaic system, which is used for hot water supplying of a family house. It explains the conversion of sunlight and possibilities of its energy use. This thesis also describes the principle of producing and using photovoltaic cells. It introduces the division, properties, the implementation and the structural design of photovoltaic systems. The main contribution of the thesis is the design of photovoltaic system for specific house. The final section of the thesis compares two designed photovoltaic systems from energy, economic and environmental aspects.

Key words

Solar radiation, solar energy, photovoltaic cell, photovoltaic panel, water heating.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

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

.....
podpis

V Plzni dne 5.5.2016

Bc. Gabriela Třísková

Poděkování

Ráda bych poděkovala prof. Ing. Janu Škorpilovi, CSc. vedoucímu své diplomové práce za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení. Dále mé poděkování patří RNDr. Jiřímu Hostýnkovi z Českého hydrometeorologického ústavu v Plzni za poskytnutí naměřených dat z předchozích let a firmě Intersekce alternativní energie s.r.o za velmi cenné rady.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 VYUŽITÍ ENERGIE ZE SLUNCE	11
1.1 SLUNCE	11
1.2 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ.....	12
1.3 GLOBÁLNÍ ZÁŘENÍ	13
1.4 VYUŽITÍ ENERGIE SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ.....	14
1.5 VÝHODY A NEVÝHODY SOLÁRNÍ ENERGIE	16
2 FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM	17
2.1 HISTORIE FOTOVOLTAIKY	17
2.2 ELEKTRINA ZE SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ.....	18
2.3 FOTOVOLTAICKÝ ČLÁNEK	19
2.4 VÝROBA FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ A PANELŮ	20
2.5 GENERAČNÍ ROZDĚLENÍ FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ.....	22
2.6 ZÁKLADNÍ TYPY FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ	24
2.6.1 Monokrystalické křemikové články	24
2.6.2 Polykrystalické křemikové články	25
2.6.3 Amorfni křemikové články.....	26
2.7 REALIZACE FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ Z HLEDISKA PROVOZU	27
2.7.1 Drobné aplikace.....	27
2.7.2 Autonomní systémy (off-grid).....	28
2.7.3 Systémy připojené k distribuční síti (on-grid).....	30
2.8 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU.....	31
2.8.1 Pevná (fixní) instalace	32
2.8.2 Polohovaná (nastavitelná) instalace.....	32
2.9 POMOCNÁ ZAŘÍZENÍ A KOMPONENTY FV	34
3 POSOUZENÍ DANÉ LOKALITY	36
3.1 ZVOLENÍ VHODNÉ LOKALITY PRO NÁVRH FV SYSTÉMU	36
3.2 SOLÁRNÍ POTENCIÁL LOKALITY	37
3.2.1 Poloha slunce nad obzorem - parametry	37
3.2.2 Součinitel znečištění atmosféry	38
3.2.3 Intenzita globálního záření	38
3.2.4 Množství energie dopadající na osluněnou plochu	40
4 NÁVRH FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU PRO KONKRÉTNÍ DŮM	42
4.1 POPIS ZVOLENÉHO OBJEKTU	42
4.2 ZHODNOCENÍ STANOVIŠTĚ.....	43
4.2.1 Výběr vhodného systému.....	44
4.2.2 Stanovení efektivní účinnosti FV panelu	45
4.2.3 Stanovení plochy FV panelů	46
4.3 VÝBĚR A VOLBA KOMPONENTŮ	48
5 ZHODNOCENÍ NAVRŽENÉHO SYSTÉMU	49
5.1 ENERGETICKÁ BILANCE	49
5.2 EKONOMICKÁ BILANCE A NÁVRATNOST SYSTÉMU.....	51
5.3 EKOLOGICKÁ BILANCE	53
ZÁVĚR	55

SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	56
SEZNAM OBRÁZKŮ	58
SEZNAM TABULEK	59
PŘÍLOHY	60

Seznam symbolů a zkratek

CHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
EVA	Etylen-vinyl acetát
FV	Fotovoltaický
FVE.....	Fotovoltaická elektrárna
FVS	Fotovoltaický systém
LCA	Posuzování životního cyklu (Life cycle assessment)
PET	Polyethylentereftalát
RD.....	Rodinný dům
STC	Standardní testovací podmínky (Standard Test Condition)
Tedlar.....	Polyvinyl fluorid (PVF)
TUV	Teplá užitková voda
Wp.....	Watt špičkového výkonu (wattpeak)

Úvod

Lidstvo na naší planetě provází na každém kroku velmi důležitý termín - energie. Každý pohyb, činnost či vývoj je umožněn a doprovázen přeměnou energií. Vývoj výroby a využití energie je dlouhodobý. Člověk nejdříve využíval energii vlastních svalů, později energii zvířat, vody, větru, přes energii uvolněnou spalováním fosilních paliv až po energii z jaderných elektráren. Důležitý přelom v životě lidstva nastal v 18. století rozvojem průmyslové revoluce, kdy se ve velké míře začala využívat energie z fosilních paliv. S tím souvisel rozvoj dopravy a komunikací. Současně vyšší životní styl obyvatel umožnil rozšíření populace i mimo průmyslová centra do míst méně přijatelných pro život. Všechny tyto důvody vedou k rychlému vyčerpání zásob fosilních paliv, které tudíž nejsou dostatečné a navíc využívání energie z neobnovitelných zdrojů má negativní dopad na životní prostředí.

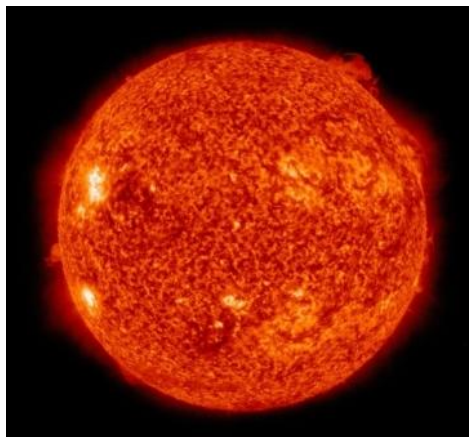
Energetická spotřeba lidstva stoupá důsledkem vysokého životního stylu a stále rychlejším vývojem nových technologií. Proto jsou lidé nuceni hledat nové zdroje energie, které budou obnovitelné a ekologické při zpracování, neboť vývoj civilizace se bez energie neobejde. Jako možné řešení využití energie z obnovitelných zdrojů se v našich podmínkách nabízí energie slunečního záření. Již po dlouhou řadu let biosféra na naší planetě věrně využívá ke svému životu sluneční energii, a pokud se podmínky pro život na Zemi nezmění, bude ji využívat i nadále. A právě zpracování a využití solární energie se v posledním desetiletí stává předmětem výzkumu. Nové technologie na využívání energie slunečního záření jsou prioritou hospodářství většiny států a v poslední době prošly velmi významným a rychlým vývojem.

V současné době je vhodným zařízením fotovoltaický článek, který umožňuje přímo přeměnit solární energii na energii elektrickou. Předmětem této diplomové práce je vybrat a navrhnout fotovoltaický systém pro ohřev TUV v rodinném domě. Součástí práce je hodnocení ekonomické a energetické návratnosti a současně je posouzen i ekologický přínos životnímu prostředí.

1 Využití energie ze Slunce

1.1 Slunce

První písemné zmínky o Slunci pocházejí ze starověké Číny z období 2000 let př. n. l. Slunce je vzdáleno od Země asi 150 milionů kilometrů a je to tedy naše nejbližší hvězda. Slunce je centrálním tělesem sluneční soustavy a představuje přibližně 99,8 % její hmotnosti a jeho hmotnost je 330 000 krát větší než je hmotnost Země.

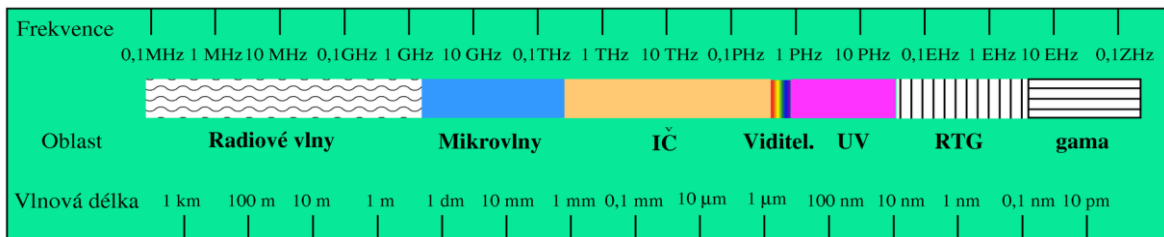


Obr. 1: Slunce [4]

Slunce se vytvořilo pomalu současně se vznikem celé sluneční soustavy z mlhoviny řídkých plynů a prachu. Působením gravitačních sil pomalu docházelo ke smršťování mlhoviny a postupnému zahřívání. Slunce je ohromná koule žhavé plazmy o objemu asi 1,3 milionkrát větším než objem Země. Teplota povrchu dosahuje téměř 6000 K. Slunce je složeno zhruba ze 75 % vodíku a 25 % hélia. Ve slunečním jádru dochází k termonukleární reakci, kdy se vodík přeměňuje na hélium a energii, která na Zemi dopadá ve formě elektromagnetického záření. Slunce každou vteřinu uvolňuje obrovské množství energie ($3,8 \times 10^{26}$ J), ze kterého na povrch Země pro velkou vzdálenost dopadá jen nepatrný zlomek. Slunce se nachází ve stabilním stádiu svého vývoje a jeho stáří se odhaduje na 4,6 miliard let. Předpokládá se, že při zachování svého výkonu tak setrvá dalších 5 až 7 miliard let. [1, 6, 7]

1.2 Sluneční záření

Sluneční záření je energie dopadající ve formě elektromagnetického záření na osvětlenou stranu Země. Obsahuje záření všech vlnových délek od rádiových až po rentgenové a gama záření. Převážnou část své energie však Slunce vysílá k Zemi ve vlnových délkách ultrafialového, viditelného a infračerveného záření, která jsou pro život na Zemi nejdůležitější.

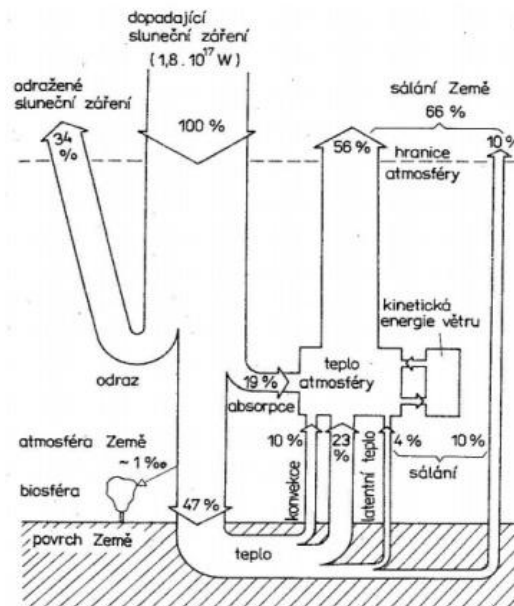


Obr. 2: Spektrum elektromagnetického záření [8]

Sluneční paprsky dopadají k Zemi ze vzdálenosti 150 milionů km. Na hranici atmosféry Země přichází v původní podobě bez odrazů a pohlcování jen s menší intenzitou, neboť se rozptýlí na větší ploše. Množství zářivé energie dopadající na plochu kolmou ke slunečním paprskům za jednotku času nám udává tzv. solární konstanta ($I^* = 1\,360 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$).

Při průchodu zemskou atmosférou se část sluneční energie pohltí, část odrazí a část projde, tudíž na Zemi dopadne jen mizivá část celého výkonu Slunce, a to $1,8 \cdot 10^{17} \text{ W}$. Atmosférou nazýváme plynný obal Země, který je složený převážně z dusíku a kyslíku, sahá do výšky přes 1 000 km a je složen z několika vrstev. Ionosféra je vrstva, kde ve výškách přes 60 km nad zemským povrchem je pohlcováno a současně ionizováno atmosférickými plyny ultrafialové a rentgenové záření. Ozónová vrstva je částí stratosféry (ve výšce 25 – 35 km), která díky značně zvýšenému obsahu ozónu absorbuje UV záření lépe než dvouatomový kyslík. Obě tyto vrstvy zachycují záření nebezpečné pro život na Zemi. Zbylá část záření 34 % se odrazí od mraků zpět do vesmíru, 19 % se pohltí v atmosféře a přibližně 47 % energie absorbuje zemský povrch, ze kterého je přeměněná energie vrácena zpět do atmosféry sáláním, prouděním a ve formě latentního tepla. Na biosféru zbývá 1 ‰ z této energie. I toto malé množství slunečního záření blízko povrchu Země vyvolá chemické a biochemické reakce, které jsou pro život nezbytné.

[5, 6, 8]

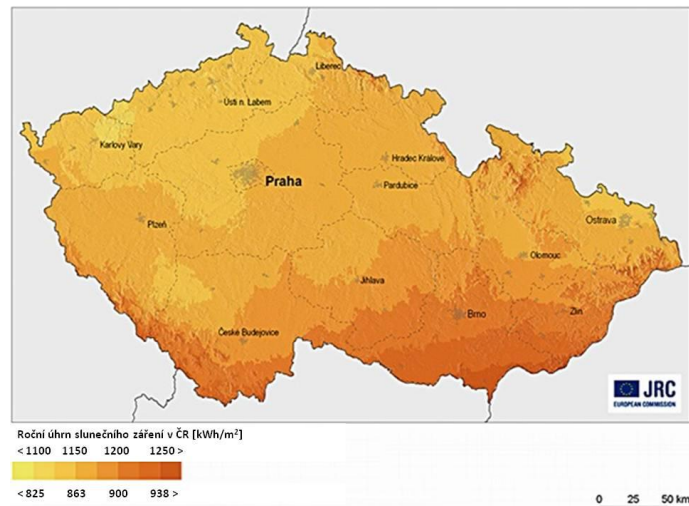


Obr. 3: Přeměna energie slunečního záření dopadajícího na Zemi [5]

1.3 Globální záření

Sluneční záření se skládá z přímého a difúzního (rozptýleného) záření. **Přímým** slunečním zářením se rozumí záření od slunečního kotouče, které z důvodu přílišné vzdálenosti tvoří prakticky rovnoběžné paprsky. Část těchto přímých rovnoběžných paprsků se rozptýlí v důsledku dopadu na vodní kapky, molekuly plyných složek vzduchu a ledové krystaly, a tak vzniká záření **difúzní**. Říká se mu též světlo oblohy, neboť bez něho by se obloha i během dne zdála jako černá s jasným slunečním diskem.

Matematický součet intenzity přímého a difúzního slunečního záření se nazývá **globální sluneční záření**. Je to vlastně celkové množství slunečního záření, které dopadne za jednotku času na jednotku plochy horizontálního zemského povrchu. Hodnota dopadající energie závisí na mnoha faktorech (doba slunečního svitu, nadmořská výška, zeměpisná šířka a vliv počasí). V rovníkových a horských oblastech tedy zaznamenáme největší množství solární energie. V České republice lze zachytit nejméně slunečního záření v oblasti Krušných hor, naopak nejvíce na jihu Moravy. Rozložení zářivé energie na zemském povrchu ukazují solární mapy, viz *obr. 4*. [3]



Obr. 4: Roční průměrný úhrn globálního záření dopadající v České republice [$kWh \cdot m^{-2}$] [9]

1.4 Využití energie slunečního záření

K povrchu Země dopadne po odrazu a absorpci slunečního záření v atmosféře 47 % energie, tzn. $8,46 \cdot 10^{16}$ W. Využití této zářivé energie našlo v průběhu více než 50 let řadu možností. Podle toho k jaké energetické přeměně dochází, je lze řadit do následujících skupin:

- přeměna na energii tepelnou
- přeměna na energii chemickou
- přeměna na energii mechanickou
- přeměna na energii elektrickou

Nejsnadněji využitelná přeměna slunečního záření je na energii *tepelnou*, též jí říkáme fototermální, protože se světelné záření mění na teplo. Tuto přeměnu dělíme na *pasivní* a *aktivní*. Při *pasivní* přeměně nepotřebujeme pro zachycení sluneční energie žádné přídavné technické zařízení, v podstatě jde o využití skleníkového jevu. Tato metoda využívá jednoduchých solárních prvků budov (prosklené fasády, Trombeho stěna, skleníky, zimní zahrady). U tzv. slunečních domů je snaha, aby energie na jejich provoz byla co nejvíce získána ze slunečního záření. Obor, který se zabývá touto problematikou, se nazývá solární architektura.



Obr. 5: Pasivní přeměna [11]

Při *aktivní* přeměně dopadá zářivá energie na sestavu prvků (solární systémy), které ji přemění na teplo o nízkém potenciálu (do 100 °C) nebo na teplotu vysokou (až 4000 °C). Nízkopotencionální systémy zachycují sluneční energii absorberem. Jsou vhodné k vytápění budov, ohřevu teplé užitkové vody (TUV) a bazénové vody a k teplovzdušnému vysoušení různých materiálů. K tomuto účelu se aplikují buď ploché (deskové) kolektory nebo trubicové (vakuové) kolektory. Jejich teplonosným médiem může být kapalina nebo vzduch. Vysokopotencionální systémy využívají soustředění slunečních paprsků pomocí zrcadel či sběrných čoček do jednoho bodu. Tyto systémy se používají při tavení kovů v solární peci, destilaci vody, výrobě páry.

Na základě fotochemické reakce probíhá přeměna energie slunečního záření v energii *chemickou*, kdy molekuly pohltnou dopadající fotony, které pak zasáhnou do jejich struktur. Příkladem takovéto přeměny je fotosyntéza rostlin.

Většina *mechanické* energie vzniklé z energie slunečního záření je nepřímá. Jde totiž o řetězec přeměn řídicí se zákonem o zachování energie, kdy na začátku vždy působí sluneční energie a na konci se uvolňuje teplo. Jako příklad můžeme uvést práci domácích zvířat živících se rostlinou potravou, práce větrných turbín poháněných kinetickou energií vzduchu, práce vodních turbín hnaných potenciální energií vody.

Jako poslední můžeme jmenovat přeměnu na *elektrickou* energii, která využívá principu fotovoltaického jevu. Foton s dostatečnou energií uvolní při srážce s polovodičovým materiálem elektron, přičemž na jeho místě vzniká díra (kladný náboj). Díky PN přechodu se vzniklý náboj pohybuje směrem ke stejně polarizované elektrodě. V případě, že elektrody jsou propojeny vnějším obvodem, vznikne vlivem světla na PN přechodu napětí a proud. Dříve byl fotovoltaický jev použit v kosmonautice, kde jako zdroj elektrické energie sloužily baterie využívající energii slunečního svitu. Těchto baterií bylo také použito při pokusech s pohony vozidel a letadel. S větším úspěchem jsou solární baterie používány ve spotřební elektronice (kalkulačky, světelné zdroje). Dnes malé FV systémy slouží k výrobě elektrické energie například pro rodinné domy, pro pohon vodních čerpadel a ventilátorů, pro napájení dopravních značek, světelných zdrojů, elektrických ohradníků. Velkého množství FV panelů využívají k výrobě elektrické energie tzv. sluneční fotovoltaické elektrárny (solární parky), které dodávají elektřinu do distribuční sítě.

Zvláštním typem jsou solární termické elektrárny stavěné v lokalitách s dostatečným počtem slunečných dnů (např. Španělsko, Kalifornie, Arizona). Příkladem těchto elektráren jsou solární věže, solární žlaby či solární talíře. *Solární věžová elektrárna* je vlastně elektrárna tepelná, která získává potřebné teplo k výrobě elektrické energie ze slunečního záření pomocí velkého počtu plochých zrcadel (heliostatů) sledujících pohyb slunce. Tato zrcadla koncentrují sluneční světlo do jednoho místa a to na vrchol vysoké věže, kde se ohřívá vhodné pracovní médium na vysokou teplotu. Horké médium ohřívá vodu a vznikající pára pohání turbogenerátor. Ochlazené pracovní médium se vrací zpět do solární věže. *Solární žlaby* využívají ke své činnosti vyleštěná zrcadla parabolického tvaru (žlaby). Jejich ohniskem procházejí trubice, v nichž proudí pracovní médium. Pracovní médium se ohřívá, následně se používá k výrobě páry v parogenerátoru a vzniku elektrické energie. *Solární talíře* jsou menším typem termických elektráren. Solární záření se odráží od parabolických zrcadel do společného ohniska. Horký vzduch z tohoto bodu pohání motor Stirling. Tento motor, který pohání generátor, byl vynalezený v 19. století, slouží jako alternativa k parním strojům a neprodukuje škodlivé emise.

[3, 5, 6, 10, 11]

1.5 Výhody a nevýhody solární energie

Solární energie je ekologická čistá energie, která nevytváří žádné škodlivé odpady, a tudíž její využívání má minimální dopad na životní prostředí. Je to tzv. obnovitelný zdroj energie a z pohledu lidského života je to zdroj nevyčerpatelný. Jeho provoz je zcela bezhlučný. Výhodou je všeobecná plošná dostupnost a také fakt, že slunce svítí stále a je lidstvu k dispozici tzv. zadarmo. Solární systémy jsou technicky nenáročné na instalaci i na obsluhu a mají dlouhou životnost. Dále je také výhodou, že oproti jiným systémům (větrné či vodní elektrárny) se dají instalovat i v husté městské zástavbě. Solární systémy proto v mnoha státech nachází stále větší uplatnění. Nevýhodou využívání solární energie je její časová nespolehlivost, klimatická proměnlivost (kolísání intenzity záření v průběhu roku) a malá hustota záření dopadající na plochu. Z tohoto důvodu je nutná dostatečná velikost celého solárního systému, nejlépe doplněného záložním zdrojem pro použití v době nedostatečného slunečního svitu. Mezi další nevýhody řadíme vysoké pořizovací náklady na zařízení. Velikost solárního systému optimalizujeme tak, aby doba návratnosti investice nebyla delší než doba životnosti systému.

2 Fotovoltaický systém

2.1 Historie fotovoltaiky

Termín fotovoltaika je složen ze dvou různých slov, z řeckého φώς [phos] – světlo a volt, což je jednotka elektrického napětí, která je zvolena podle příjmení italského fyzika Alessandra Volty (vynálezce elektrického článku). V roce 1839 byl objeven fotoelektrický jev a tím se začala psát historie fotovoltaiky. Jeho objevitelem byl teprve 19letý Alexandre Edmond Becquerel. Při svých experimentech zjistil, že velikost proudu procházející kovovými elektrodami ponořenými v elektrolytu se mění v závislosti na osvětlení.

Poprvé fotovoltaický jev s použitím selenu a platiny pozorovali v roce 1876 William Grylls Adams a jeho žák Richard Evans Day. První funkční fotovoltaický článek sestrojil v roce 1883 Charles Fritts, který použil polovodivý selen s velmi tenkou vrstvou zlata. Toto zařízení mělo účinnost pouhé 1 %, a proto jeho sériová výroba nebyla zahájena. V roce 1946 konstrukci solárního článku patentoval americký inženýr Russel Ohl, který pracoval v Bellových laboratořích. První solární článek s účinností okolo 6% vznikl jako vedlejší produkt při vývoji materiálu pro výrobu tranzistoru, kdy se ukázalo, že křemíkový polovodič s některými příměsemi reaguje na světlo.



Obr. 6: Alexandre Edmond Becquerel [6]



Obr. 7: Russel Ohl [6]

První významné využití fotovoltaiky přinesla šedesátá léta 20. století v oblasti kosmonautiky. Solární články sloužily jako zdroj elektrické energie pro umělé družice a dodnes slouží. V sedmdesátých letech fotovoltaické články našly své uplatnění i pro osvětlení automatických ropných plošin, kde plně nahradily původní primární články elektrické energie. Solární články se též uplatnily v místech bez elektrické sítě při napájení navigačních světel a různých zabezpečovacích zařízení.



Obr. 8: Kosmická družice Vanguard I [6]

Výzkum a vývoj fotovoltaických technologií dosáhl většího rozmachu důsledkem světové ropné krize v sedmdesátých letech, neboť se ukázalo, že je nutné hledat nové alternativní zdroje energie. V současné době je snahou zvýšit účinnost a životnost fotovoltaických panelů a zároveň snížit jejich energetickou náročnost a cenu.

[1, 2, 6, 12, 13]

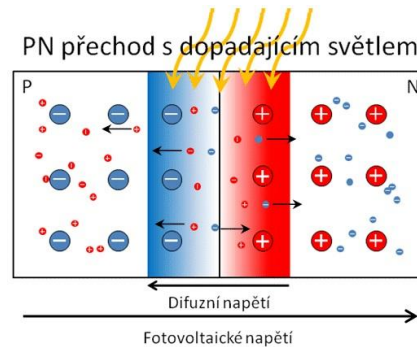
2.2 Elektřina ze slunečního záření

Přímá přeměna solárního záření na energii elektrickou probíhá v solárním článku na základě fotoelektrického jevu, při kterém jsou elektrony z látky uvolňovány právě absorpcí elektromagnetického záření. Toto záření, které Albert Einstein počátkem 20. století pojmenoval fotony, se chová jako proud částic.

Sluneční světlo dopadne na kov, jeho zářivá energie (fotony) uvolní elektron z atomové mřížky a na jeho místě zůstane kladný náboj, tzv. díra. Elektron je ale velmi rychle přitahován zpět k díře a jeho energie se nevyužije. Snahou tedy je díry a elektrony od sebe oddělit. Elektrony pak donutit, aby při průchodu elektrickým obvodem vydaly svou energii ve formě užitečné práce. K tomuto účelu lépe než kovy vyhovují polovodiče. Jsou to látky, jejichž elektrická vodivost leží mezi kovy a dielektriky, a přívodem energie se stávají

vodivými. Vnitřní elektrické pole vzniká mezi kladně dotovanou P a záporně dotovanou N oblastí. Spojením obou typů polovodiče vzniká v místě dotyku tenká vrstva tzv. PN přechod. V PN přechodu dochází k difúzi nadbytečných elektronů z polovodiče N do polovodiče P. Vzniklé elektrické pole je orientováno proti směru pohybu nosiče náboje.

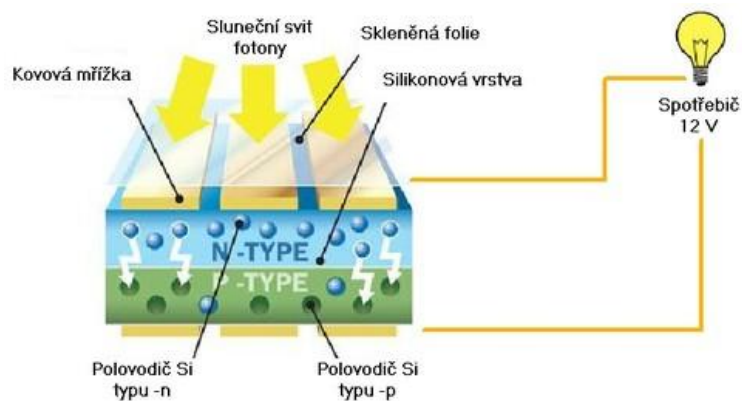
[1, 2, 3, 4, 6]



Obr. 9: PN přechod s dopadajícím světlem [14]

2.3 Fotovoltaický článek

Solární článek je velkoplošný polovodičový prvek, který se skládá ze dvou rozdílně dotovaných křemíkových vrstev. Kladná vrstva solárního článku je dotovaná bórem, nad ní leží záporná vrstva, která je dotovaná fosforem. Na přední a zadní straně jsou umístěny elektrody, které umožňují odvádět ze solárního článku proud. Elektroda na přední straně zabírá co nejmenší plochu z důvodu dostatečného propouštění světla, většinou se jedná o tenkou mřížku. Elektroda na zadní straně je uchycena pomocí stříbrné či hliníkové pasty a je celoplošná. Povrch článku je opatřen antireflexní vrstvou, která zabraňuje odrazu světla a zároveň umožňuje co největší absorpci fotonů. Po dopadu slunečního záření na článek dojde k oddělení nábojů a připojeným spotřebičem poteče proud.

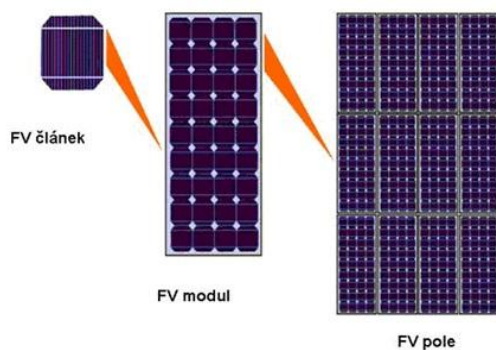


Obr. 10: Konstrukce krystalického křemíkového solárního článku [22]

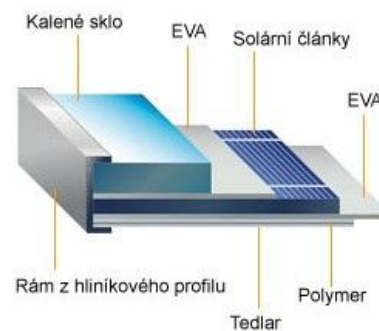
Fotovoltaický článek má jen malé využití, neboť výstupní napětí je nízké (činí přibližně 0,5 V). Samostatné články se proto spojují do tzv. fotovoltaických panelů (modulů), aby se tak dosáhlo požadovaného proudu a napětí. Jednotlivé fotovoltaické panely se spojují do fotovoltaických polí různých rozměrů. Často se používají sestavy s provozním napětím 12 V nebo 24 V, které mohou být instalovány na střechách továrních hal, domů nebo mohou stát samostatně na polích.

Fotovoltaické panely se uzavírají do pevných a zároveň lehkých duralových rámců s eloxovou úpravou proti korozi. Pro větší životnost jsou články chráněny tvrzeným leštěným sklem a gelovou EVA fólií s vysokou propustností světla. Díky těmto opatřením fotovoltaické články lépe odolávají i zhoršeným povětrnostním podmínkám jako je například déšť či krupobití. Spodní deska se skládá z několika lamino vrstev. První odolná vrstva je tvořená laminátem a obsahuje EVA fólii, nižší polymerová vrstva PET má izolační schopnosti a nejnižší vrstva Tedlar je velmi odolná a chrání proti mechanickému poškození zespu.

[2, 3, 6, 15, 16, 17]



Obr. 11: Ukázka skladby FV modulu a FV pole [16]



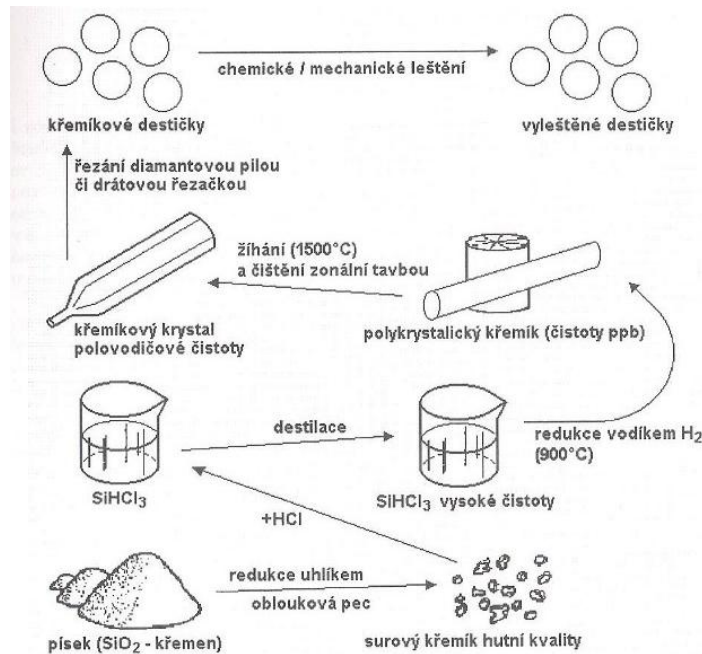
Obr. 12: Struktura FV panelu [17]

2.4 Výroba fotovoltaických článků a panelů

Solární články se vyrábí z různých materiálů. V současnosti jsou na trhu nejvíce zastoupeny fotovoltaické články na bázi krystalického křemíku. Křemík má řadu výhod. Je to druhý nejrozšířenější prvek na Zemi hned po kyslíku. Není jedovatý a je relativně snadno dostupný, a proto je levný. Je chemicky stabilní a mechanicky odolný. V přírodě se vyskytuje ve formě křemene. Surový křemík se vyrábí z křemenného písku redukcí uhlíkem v obloukové peci při vysokých teplotách. Jeho výrobu lze zjednodušeně vyjádřit rovnicí:



Chemickými procesy je dále čištěn a téměř 100 % čistý křemík je využit na výrobu monokrystalických a polykrystalických ingotů (o hmotnosti zhruba 100 kg).



Obr. 13: Schematické znázornění výroby fotovoltaických článků [4]

Výroba monokrystalických ingotů se provádí tzv. Czochralského metodou. Malý monokrystal je ponořen do taveniny o teplotě cca 1415 °C. Z taveniny je vytahován velmi pomalu a přitom je otáčen kolem své osy. Vše probíhá za sníženého tlaku a v inertní (ochranné) atmosféře. Vzniklá kulatá monokrystalická tyč o průměru až 30 cm dosahuje délky několika metrů. Výsledný produkt nazýváme křemíkový ingot. Celý proces krystalizace je obecně ve fotovoltaice energeticky velmi náročný.



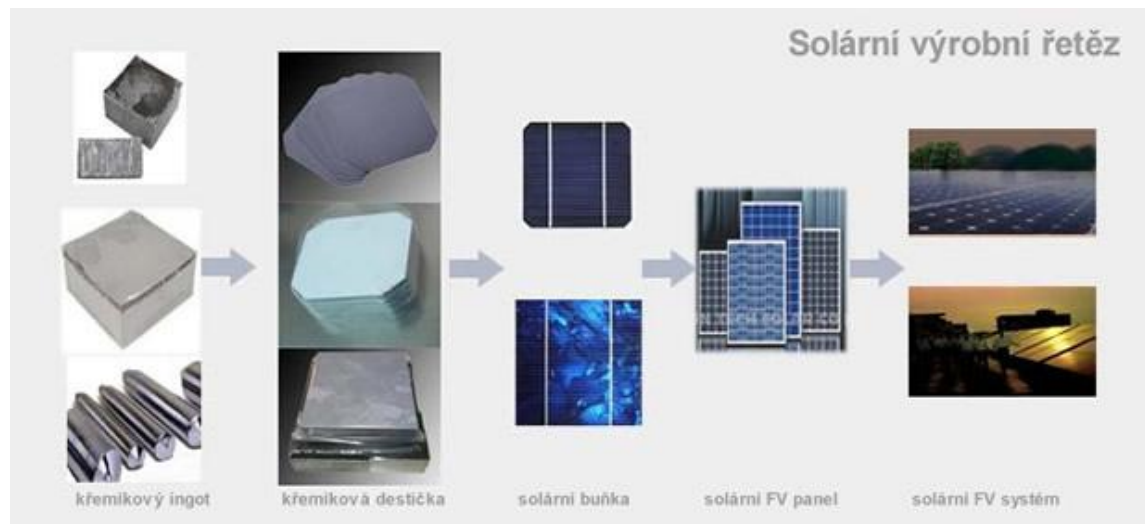
Obr. 14: Hrudky čistého křemíku [18]



Obr. 15: Křemíkový ingot [6]

Při výrobě polykrystalických ingotů se materiál roztaví a nalije do formy, kde se nechá velmi pomalu zchladnout, aby mohla vzniknout velká monokrystalická zrna. Snahou je, aby dislokace a pnutí v krystalech byla minimální, neboť tyto poruchy vytváří potenciálové bariéry pro elektrony.

Vyrobené monokrystalické a polykrystalické ingoty se podélně přiříznou na čtvercový průřez a poté se příčně řežou na destičky (plátky). Podle toho, jak se ingot podélně přiřízne, mohou vzniknout později články čtvercové, poločtvercové či šestihranné. Z jednoho ingotu se získá přibližně 750 destiček, přičemž zbytky rozřezaného ingotu se vrací zpět k opětovnému zpracování. Vyleštěné destičky o tloušťce 0,3 mm pak tvoří základ solárního článku. Díky kvalitním technologiím se v současné době proces výroby fotovoltaických článků zefektivnil. [4]



Obr. 16: Výrobní řetězec [19]

2.5 Generační rozdělení fotovoltaických článků

Fotovoltaické články prošly během 50ti let svého zrodu řadou efektivních vylepšení. Testovalo se mnoho materiálů i konstrukcí a vznikla tak celá řada nových typů. V současné době se zvyšujícím počtem instalací fotovoltaických článků klesá jejich finanční náročnost. Pro přehlednost se rozlišují čtyři generace vývoje fotovoltaických článků.

První generace

Tyto fotovoltaické články jsou vyráběné z destiček monokrystalického a polykrystalického křemíku s velkoplošným PN přechodem. Jsou charakteristické vysokou životností, dobrou účinností (13 – 17 %) a stabilitou výkonu. Na trhu se objevily v 70. letech 20. století a v současné době je to stále nejpoužívanější typ fotovoltaických článků. Nevýhodou je velká náročnost výroby odvíjející se od vysoké ceny vstupního materiálu, kterým je velmi čistý křemík.

Druhá generace

Články druhé generace se používají tenkovrstvé. Impulzem pro jejich výrobu byla snaha o úsporu drahého základního materiálu křemíku a tím snížit výrobní náklady. Nejběžnější články druhé generace jsou tedy články z mikrokrytalického nebo amorfního křemíku, které se vyznačují 100 až 1000 krát tenčí aktivní absorbující polovodičovou vrstvou. Ve výrobním procesu se kromě křemíku začínají používat tzv. směsné polovodiče z materiálů, jako jsou indium, gallium, měď, selen. Snížením množství křemíku se sice snižuje účinnost (12 – 14 %) i stabilita panelu, ale naopak tenký profil umožňuje úsporu hmotnosti a zlepšení některých mechanických vlastností, jako je pružnost a ohebnost. Tyto tenké fotovoltaické fólie začala využívat především armáda jako součást oblečení a batohů nebo jako zdroj energie pro vysílačky, mobilní telefony. I v civilním sektoru se lze již setkat se zabudovaným fotovoltaickým mini-systémem v různém vybavení (např. batohy, kšiltovka s větráčkem na solární pohon). Fotovoltaické fólie vyrábějící elektřinu mohou současně plnit izolační funkci na plochých střechách domů. Ke komerčním účelům se články druhé generace využívají od poloviny osmdesátých let.

Třetí generace

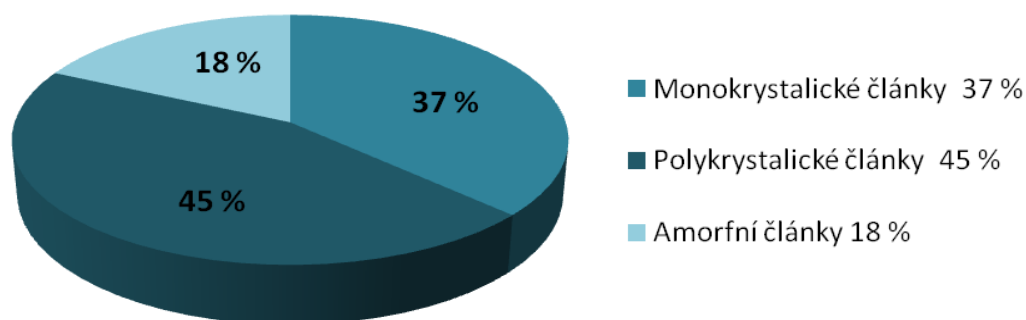
V této oblasti stále probíhá intenzivní výzkum, neboť články třetí generace představují pokus o fotovoltaickou revoluci. Hlavním cílem je maximální využití energie absorbovaných fotonů. Hledají se nové metody k oddělování nábojů než je PN přechod a současně také jiné materiály, které by nahradily polovodiče. Zkouší se například články fotochemické, polymerní nebo použití nanostruktur ve formě uhlíkových nanotrubiček či nanotyčinek nebo nanosení kvantových teček na vhodnou podložku. U těchto struktur lze ovlivnit optické a elektrické vlastnosti, což je výhodné. Nevýhodou je malá stabilita, nízká účinnost a životnost, proto se v praxi téměř nevyužívají.

Čtvrtá generace

Fotovoltaické články čtvrté generace jsou články kompozitní, složené z jednotlivých vrstev. Vrstvy profilů jsou uzpůsobeny pro absorpci různých vlnových délek, protože sluneční záření je širokospektré a jeho vlnová délka se často mění. Každá vrstva tedy účinně využívá sluneční spektrum jen určité vlnové délky a záření, které neumí využít, propustí do další hlubší vrstvy, kde bude pohlceno. [1, 3, 6, 15, 17]

2.6 Základní typy fotovoltaických článků

Nepochybně nejvíce používaným materiálem pro výrobu fotovoltaických článků je křemík. Technologie výroby křemíku je dobře zvládnutelná, ale požadavek na velmi vysokou čistotu křemíku, zvedá jeho cenu. Křemík pro elektronické účely dosahuje čistoty 99,99 % a je možné ho různými způsoby zpracovat. Nejčastěji se fotovoltaické články rozdělují na tři typy, tj. monokrystalické, polykrystalické a amorfnní. Příklad procentuálního zastoupení různých typů FV článků (v roce 2009) je znázorněn v následujícím grafu.



Obr. 17: Graf výroby FV panelů v roce 2009 [vlastní zdroj]

2.6.1 Monokrystalické křemíkové články

Základní a současně nejstarší typ fotovoltaických článků jsou články vyrobené z jediného křemíkového krystalu, označujeme je jako monokrystalické. Jejich povrch je tmavomodrý až černý právě proto, že materiál článku je tvořen jediným krystalem. Tvar článků je většinou čtvercový nebo čtvercový se zaoblenými rohy s délkou hrany 10 cm, 12,5 cm a 15 cm. V mezinárodním kritériu se rozměry solárních článků udávají v palcích, což odpovídá délce hrany 4, 5 a 6 palců.

Vyrábí se z ingotových tyčí monokrystalického křemíku Czochralského metodou tj. roztavením velmi čistého krystalu křemíku pomalým tažením. Křemíkové ingoty se následně řežou na články speciální drátovou pilou. V poslední době díky moderním technologiím lze vyrábět i články o tloušťce 100 μm , čímž se výroba zefektivnila.

Křemíkové plátkové destičky se zarovnají na stejnou tloušťku a následně se vyleští a povrchové nečistoty a nerovnosti se odstraní leptáním. Polovodičového přechodu na destičkách docílíme přidáním fosforu, a tím dojde ke vzniku vrstvy s vodivostí typu N na povrchu. K zajištění minimálního odrazu světla od povrchu FV článku slouží

antireflexní vrstva. Čím menší odraz světla bude, tím více světla pronikne do oblasti PN přechodu a bude efektivněji využito k získávání energie. Solární články budou kompletní po umístění zadní kontaktní vrstvy a také kontaktního palce.

Účinnost těchto panelů se pohybuje mezi 12 – 16 % a hodí se všude tam, kde sklon a orientace panelu budou ideální vůči dopadajícímu slunečnímu záření. [1, 2, 6, 15, 20]



Obr. 18: Křemíkový ingot [18]



Obr. 19: Monokrystalický fotovoltaický článek [15]

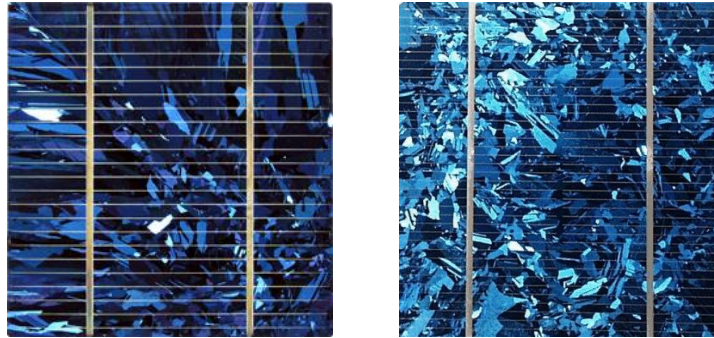
2.6.2 Polykrystalické křemíkové články

Polykrystalické články jsou články mnohokrystalové, jejichž modře se třpytící jasnější barva je odlišuje od monokrystalových. Zajímavý vzhled těchto polykrystalických článků způsobují jasně viditelné hranice krystalů připomínající leštěný drahý kámen. Čtvercové či obdélníkové destičky mohou mít délku hrany 4, 5, 6 nebo 8 palců (což odpovídá 10; 12,5; 15; 15,6 nebo 21 cm).

Při výrobě polykrystalických ingotů tzv. metodou blokového lití vznikají krystaly s rozdílnou orientací. Čistý křemík se ve vakuu zahřeje na 1500 °C a pak se řízeně ochlazuje a odlévá do forem. Vzniknou tak křemíkové polykrystalické bloky o rozměrech 40 x 40 x 30 cm. Tyto bloky se rozřežou na kvádry a následně pak na jednotlivé destičky, které se moří, opatřují antireflexní vrstvou a kovovou mřížkou s kontakty.

Výhodou je podstatně levnější výroba polykrystalických ingotů. Je to proto, že odlévání čistého křemíku je jednodušší metoda než tažení krystalu při výrobě monokrystalických článků. Další výhodou je efektivnější využití materiálu a minimalizace odpadu při řezání destiček. Nevýhodou polykrystalických článků jsou horší elektrické vlastnosti. Nižší proud je způsobený vyšším odporem vzniklým na styčných plochách jednotlivých krystalových zrn.

Účinnost polykrystalických článků se pohybuje mezi 12 - 14 %. Využívají se pro nepohyblivé instalace nebo všude tam, kde je určitá odchylka od ideální orientace. Je to proto, že rozdílná poloha jednotlivých krystalů v článku umožňuje zachytit i záření dopadající ze stran. [1, 2, 6, 15, 20]



Obr. 20: Polykrystalické fotovoltaické články [15]

2.6.3 Amorfni křemíkové články

V 90. letech 20. století vedla vysoká spotřeba materiálu a nákladná výroba krystalických křemíkových článků k posílení vývoje a výroby nových typů. Klasickým zástupcem novodobých článků je amorfni křemíkový článek nebo-li článek tenkovrstvý. Technologie tenkovrstvých článků zaujala svými mnohostrannými vlastnostmi. Mají příznivou reakci na okolní teplotu. To ovlivní jejich účinnost, což znamená, že nedochází k jejímu snížení při vyšších teplotách v letních měsících jako u monokrystalických článků. Ani při částečném zastínění (např. od mraků, stromů, komínů) nedochází k výpadkům modulů jako celku. Vysokou účinnost vykazují amorfni články i za zhoršených světelných podmínek (např. při zatažené obloze), neboť jsou schopny absorbovat záření difúzní, které vzniká tříštěním přímého slunečního svitu v atmosféře. Modul je vysoce odolný vůči povětrnostním vlivům i mechanickému poškození, protože přední strana je tvořena z vysoce stabilního skla. Podkladovou vrstvou může být sklo, kov nebo plast. Amorfni solární články neobsahují letované spoje jako krystalické moduly, při výrobním procesu jsou pospojovány mezi sebou.

Klasickým výrobním materiálem tenkovrstvých článků je amorfni křemík, který nemá pravidelnou krystalickou strukturu. Amorfni křemík je ve vakuové komoře při teplotách kolem 200 °C nanášen v tenké vrstvě na sklo nebo jiný nosný materiál. Zvýšení účinnosti lze dosáhnout kombinací více vrstev amorfniho křemíku. Panely jsou tenčí, levnější, ale jejich účinnost dosahuje 7 až 9 %. U amorfniho panelu ve srovnání

s monokrystalickým je pro dosažení stejného výkonu zapotřebí 2,5 krát větší plocha. Tenkovrstvé panely jsou též odlišné svým vzhledem. Z větší dálky působí homogenně díky chybějící rastrové struktuře krystalických článků.

Tenkovrstvé panely mohou mít na rozdíl od krystalických modulů z destiček různý asymetrický tvar, což je často využíváno v novodobé architektuře. Uvnitř však bude účinná jen největší možná obdélníková plocha, ve které jsou články propojeny do série. Oblast, která je mimo tuto obdélníkovou plochu, není elektricky aktivní, ale vzhledově se od aktivní plochy neliší. Tyto velmi tenké fotovoltaické články a moduly se mohou použít nejen jako krycí fólie na střechy a fasády budov, ale též našít na oblečení.

[1, 2, 6, 15, 18, 20]



Obr. 21: Amorfni tenkovrstvé fotovoltaické články [20, 18]

2.7 Realizace fotovoltaických systémů z hlediska provozu

Fotovoltaická přeměna sluneční energie se stala v poslední době rychle se rozvíjejícím oborem průmyslové výroby. Fotovoltaické systémy rozdělujeme podle způsobu provozu na drobné aplikace, systémy autonomní (označované též off-grid) a systémy připojené k distribuční síti (on-grid). [3, 6, 15]

2.7.1 Drobné aplikace

Drobné aplikace tvoří sice nejmenší, přesto velmi významnou skupinu. Do této kategorie spadají zařízení s malou spotřebou, jako jsou solární nabíječky akumulátorů pro mobilní telefony, notebooky, MP3 přehrávače, fotoaparáty, kalkulačky, hodinky, vysílačky případně zdroje pro osvětlení.



Obr. 22: Solární nabíječka mobilního telefonu [15]

Své uplatnění nacházejí u skupin lidí, kteří tráví čas ve volné přírodě s požadavkem mobility a nezávislosti na elektrické síti. Zájem o tyto drobné aplikace neustále roste a tím získávají nezanedbatelnou pozici na FV trhu.

2.7.2 Autonomní systémy (off-grid)

Ostrovní systémy nacházejí své uplatnění v místech, kde není k dispozici elektrická rozvodná distribuční síť, a nebo je nespolehlivá, zastaralá či poškozená přírodními kalámitami. Jediným dostupným zdrojem energie v tomto případě je právě slunce a ostrovní FV systémy tak pomohou získat energii nezávisle na dodávce ze sítě. Ostrovní systémy se využívají pokud vzdálenost k rozvodné síti bude větší než 500 – 1000 m, a nebo jsou-li náklady na vybudování přípojky srovnatelné či vyšší s náklady na FV systém. Příkladem jsou odlehlé objekty, samoty, horské chaty. Další kategorií tvoří větší motorové lodě a jachty, kde možnost připojení se k síti během plavby není možné.

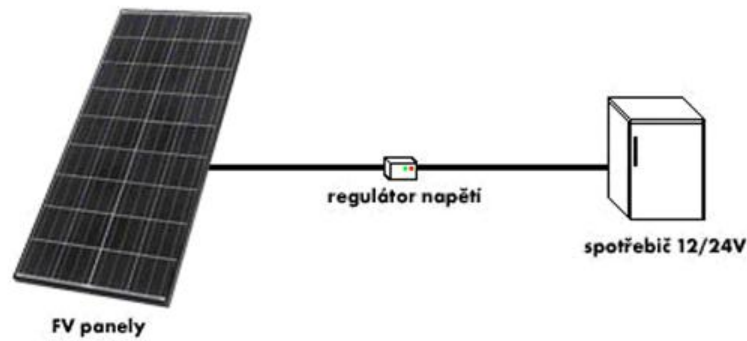
Výběr FV systému závisí na množství spotřebované energie, a proto i spotřebiče by měly být energeticky nenáročné, aby systém nezatěžovaly a nezvyšovala se tak cena instalace FVS.



Obr. 23: Lod s fotovoltaickým systémem [15]

System s přímým napájením

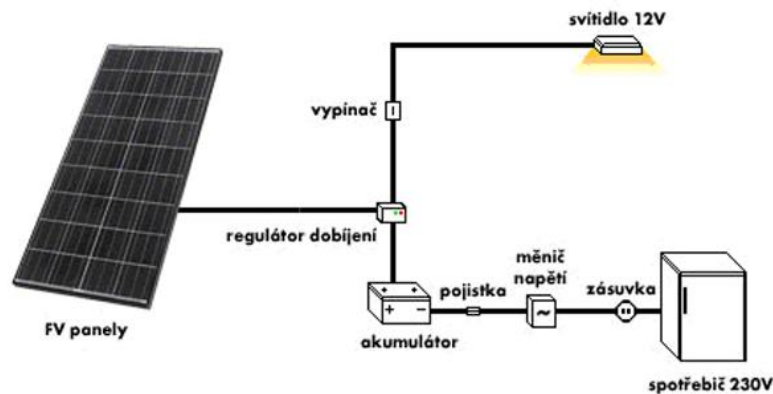
Takovým systémem rozumíme přímé propojení solárního modulu se spotřebičem. Systém začne pracovat ve chvíli, kdy intenzita slunečního záření je dostatečná. Tohoto principu se využívá pro napájení čerpadel zavlažovacích systémů půdy a okrasných fontánek, napájení ventilátorů či pro spouštění slunečních clon.



Obr. 24: Systém s přímým napájením [21]

Systém s akumulací elektrické energie

Tento způsob zapojení ostrovních systémů patří k nejvyužívanějším. Nachází uplatnění v případech potřeby elektrické energie při nedostatečném slunečním záření a také v době, kdy největší spotřeba elektrické energie není stejná s dobou její výroby. Systémy jsou opatřeny akumulátorovou baterií. Ve chvílích, kdy vyrobená elektrická energie při ideálních podmínkách slunečního záření přesahuje okamžitou spotřebu objektu, je akumulátorová baterie nabíjena. Optimální chod dobíjení a vybití zabezpečuje regulátor, a tím je životnost akumulátorové baterie prodloužena. K systému lze přímo zapojit spotřebiče na stejnosměrný proud (napětí 12 nebo 24 V). Připojení klasických síťových spotřebičů (230 V/ 50 Hz) zajišťuje napěťový měnič.

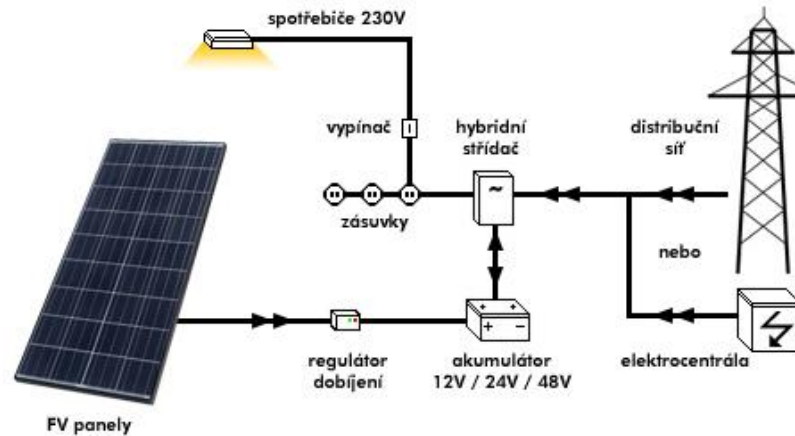


Obr. 25: Systém s akumulací elektrické energie (12V i 230V) [21]

Hybridní systém

Hybridní systém kombinuje ostrovní systém s běžným odběrem elektrické energie z rozvodné sítě. Je vhodný pro objekty s celoročním provozem. Intenzita slunečního záření se v průběhu kalendářního roku mění. V zimních měsících je sluneční aktivita nižší, tudíž množství vyrobené energie je menší a nestačí k pokrytí spotřeby.

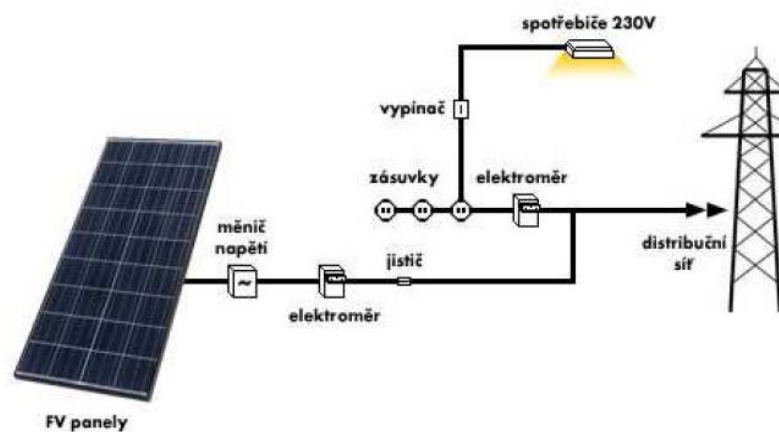
FV systémy jsou z tohoto důvodu doplňovány dalším zdrojem energie, například distribuční sítí nebo elektrocentrálou. Hybridní systém obsahuje spínač, který při nedostatku slunečního záření nebo výpadku FV systému připojí nabíječku k distribuční síti. Tím je zajištěno dobítí akumulční baterie i v nepříznivých podmínkách.



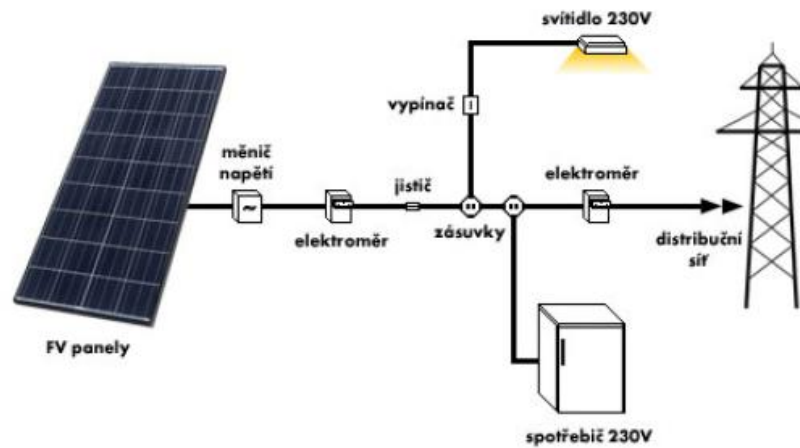
Obr. 26: Hybridní systém s akumulací energie a záložním zdrojem [21]

2.7.3 Systémy připojené k distribuční síti (on-grid)

Nejčastěji bývají uplatňovány v místech s hustou sítí elektrických rozvodů. Za ideálních podmínek slunečního svitu jsou spotřebiče napájeni solární elektrickou energií a přebytek je dodáván do veřejné distribuční sítě. V případě nedostatku vlastní solární energie, bude elektrická energie odebírána ze sítě. Celý systém pracuje zcela automaticky. Připojení k distribuční síti podléhá schvalovacímu řízení.

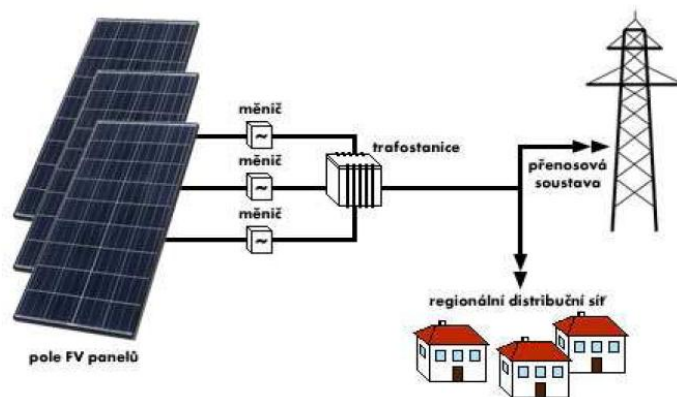


Obr. 27: Systém připojený k distribuční síti pro výhradní prodej energie [21]



Obr. 28: Systém pro vlastní spotřebu a prodej přebytků do sítě [21]

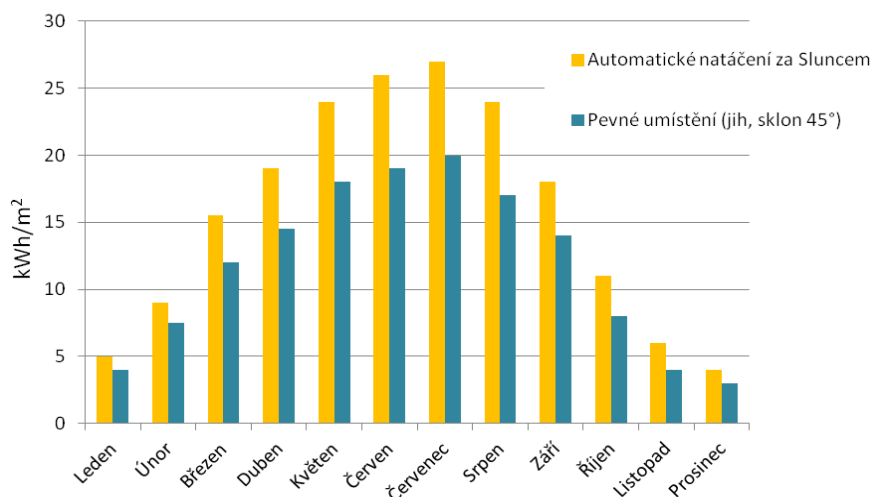
Jiným typem zapojení je komplex většího počtu FV panelů, který nazýváme fotovoltaickou elektrárnou (solárním parkem) s výkonem větším než 500 kWp. Často je tvoří tisíce FV panelů, několik centrálních střídačů, podpůrné a jistící prvky a též konstrukční prvky a kabeláž. Solární parky jsou nehlukné a nevytvářejí žádné odpady. Fotovoltaické elektrárny se mohou instalovat na střeších průmyslových hal či na zelené louce (volné ploše). K zabezpečení solárního parku je nutné oplocení celého pozemku. Zajištění optimálního provozu se neobejde bez stálé údržby nosných konstrukcí a okolního prostředí (sekání trávy, odklizení sněhu). [3, 15, 21]



Obr. 29: Systém velkých FV elektráren [21]

2.8 Konstrukční řešení fotovoltaického systému

Nedílnou součástí fotovoltaických systémů jsou konstrukční prvky sloužící k upevnění panelů. Vhodná instalace FV panelů hraje významnou roli, neboť správná volba konstrukčních prvků může ovlivnit celkový energetický výnos. V podstatě se využívají dva základní typy instalace a to pevná a polohovaná. Následující graf znázorňuje využití obou typů instalací.



Obr. 30: Graf měsíční výroby FV panely [vlastní zdroj]

2.8.1 Pevná (fixní) instalace

Pevná montáž FVS je vhodná zejména pro střechy a fasády domů. Fixní instalací rozumíme nepohyblivé uchycení FV panelů na nosných hliníkových profilech pod pevným úhlem $25^\circ - 35^\circ$ od horizontální roviny nejlépe v jižním směru. FV panely jsou na hliníkové profily přišroubovány a pomocí speciálních železných háků upevněny podle typu pokrývky střechy k její konstrukci. Při plném výkonu je roční produkce v našich podmínkách cca 1000 pracovních hodin.



Obr. 31: Pevná instalace FV panelů [23]

2.8.2 Polohovaná (nastavitelná) instalace

Při nastavitelné instalaci lze funkční plochu FV panelů naklápět či natáčet. Tato možnost je oproti fixní instalaci výhodnější. Zařízení, které sleduje pohyb slunce po obloze a tím umožňuje lepší nasměrování solárních modulů, je naváděcí systém tracker (sledovač). Díky polohovacímu zařízení můžeme získat větší roční energetický výnos. Rozlišujeme polohování jednoosé a dvouosé.

Jednoosé polohování

Jednoosým polohováním rozumíme naklápění FV modulů do možné nejvýhodnější polohy, v ČR nejčastěji pod úhlem 35° , za pomoci zařízení (sledovače), který sleduje polohu slunce v jedné ose (od východu na západ). Oproti klasickým pevným instalacím se jedná v podstatě o jednoduchou modifikaci, která umožňuje zvýšit výstup z modulů o 5 – 10 %. Pro jednoosé polohování se spíše používají polykrystalické panely.



Obr. 32: Jednoosý polohovací systém [24]

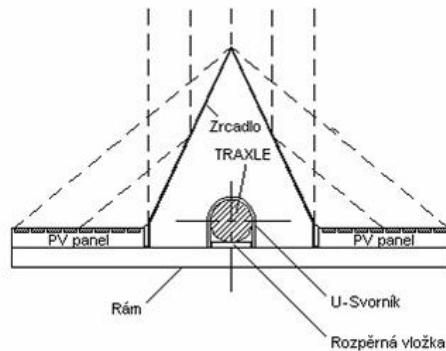
Dvouosé polohování

K dosažení nejlepšího optimálního výkonu FV modulů se používá dvouosé polohování. Tím rozumíme natáčení konstrukcí za sluncem tak, aby sluneční paprsky dopadaly na FV panely kolmo. Nejčastěji se používají monokrystalické moduly s vyšší účinností. Konstrukce s FV panely jsou naklápěny (elevace) a současně natáčeny ve směru orientovaného úhlu (azimut). Tyto systémy z důvodu statiky nelze konstruovat na střechy.



Obr. 33: Dvouosý polohovací systém [25]

Speciální variantou obou polohovacích typů je systém Super TRAXLE. Jedná se o polohovací jednotky opatřené přídatným zrcadlem - násobičem světelného toku. Pomocí těchto zrcadel se zvětší počet dopadajícího záření, a tím se zvýší účinnost přeměny. Rozložení zrcadel a FV panelů vidíme na *obr. 35*. Systémy super TRAXLE není možné z důvodu statiky konstruovat na střechy. [22]



Obr. 34: Schéma příčného řezu [22]



Obr. 35: TRAXLE [22]

2.9 Pomocná zařízení a komponenty FV

Fotovoltaické systémy k výrobě elektrické energie ze slunce kromě nosných konstrukcí, koncentrátorů a sledovačů vyžadují další komponenty. Jsou to elektrotechnická zařízení uzpůsobená k ukládání a vydávání vyrobené energie. Pomocná zařízení a komponenty významně ovlivní celkovou energetickou bilanci systému, jeho cenu a také dobu návratnosti. Mezi komponenty řadíme akumulátory, měniče proudu, měřicí zařízení vyrobené energie, pojistná zařízení a záložní zdroj.

Akumulátory

Akumulátory tvoří nepostradatelnou součást autonomních systémů (off-grid). Uplatňují se k ukládání vyrobené energie. Životnost akumulátorů nedosahuje životnosti FV panelů, pohybuje se okolo 5-10 let, zatímco životnost FV panelů se udává okolo 20 let. Proto je nutné při výchozí kalkulaci počítat s několika akumulátory. Vyšší počet akumulátorů se tedy promítne do nákladů, může tvořit až 60 % celkové ceny fotovoltaického systému. Nejčastěji používané akumulátory v dnešní době jsou olověné, jejichž technologie je dlouhodobě a dobře zvládnutá.

Ve fotovoltaice se dále využívají nikl-kadmiové (Ni-Cd), mají delší životnost a snáší delší dlouhodobé vybití. Nevýhodou je pokles kapacity, pokud se občas zcela nevybijí, tzv. paměťový efekt. Budoucností se jeví lithium-iontové baterie. Mají zanedbatelné samovybití a netrpí tzv. paměťovým efektem. Nevýhodou je relativně krátká životnost a pro účely fotovoltaiky jsou neúměrně drahé. Za zmínku stojí ukládání energie ve formě vodíku, které skrývá velký potenciál ve formě úložiště energie pro mnoho objektů současně (např. celá vesnice).

Měniče (invertory)

Měnič, též nazývaný jako střídač nebo invertor, umožňuje propojení FV systému s elektrickou sítí nebo spotřebičem. Stejnoseměrný proud vyrobený FV panely je nutné za pomoci střídače přeměnit na střídavý proud, který je pak transformován na potřebné napětí a frekvenci sítě. Výkon měničů se pohybuje v řádu desítek wattů až po stovky kilowattů. Provedení střídače je podle konstrukce s transformátorem nebo bez něho. Měniče lze doplnit o další funkce například ochranné nebo monitoring sítě a provozních údajů. Účinnost těchto zařízení je velmi vysoká, pohybuje se v rozmezí 90-96 %. Výrobci nabízejí řadu typů invertorů podle výkonu a rozsahu použitelného vstupního napětí.

Nutná je správná instalace měniče v prostoru, zejména vzdálenost od překážek z důvodu chlazení. Přestože měniče mají krytí IP65, umožňující venkovní použití, je samozřejmostí ochrana invertoru proti vlivům počasí (déšť, slunce). Na výkon a životnost zařízení má pozitivní vliv jeho umístění na chladném a stinném místě. Nejsledovanějšími parametry jsou právě účinnost, rozsah napětí pro optimální práci měniče, zařízení pro účinné chlazení a sledování teplot, kvalitní servis. Vyšší počáteční investice a vhodná volba typu zařízení se investorovi během let vrátí tím, že bude ušetřen následných oprav či sníženým výkonem jeho FV systému.

Měřicí zařízení vyrobené energie

Množství energie jdoucí do sítě musí být měřeno. K tomuto účelu slouží měřicí zařízení – elektroměr. Obvykle se využívá dvou klasických elektroměrů. První elektroměr je tzv. elektroměr vlastní výroby energie, který měří energii vyrobenou vlastním

FV systémem. Druhý je elektroměr přebytečné energie, který měří množství nespotřebované energie dodané do distribuční sítě.

Pojistná zařízení

K základním bezpečnostním prvkům patří přepět'ová ochrana, která chrání FV zařízení před poškozením vyšším přepětím, než které je izolace zařízení schopna vydržet, např. při zasažení bleskem. Škoda způsobená bleskem může snížit energetický výnos a zkrátit dobu amortizace. Pasivní ochranu může zajistit instalovaný hromosvod.

Záložní zdroj

V období nedostatečného slunečního záření je nutné, aby každý FV systém, který není připojen k elektrické síti, měl záložní zdroj energie. Tyto zdroje elektřiny jsou nezávislé na veřejné elektrické síti, fungují bezpečně a spolehlivě. Nejčastěji bývá používána elektrocentrála s motorem na benzín, na propan butan či motor dieselový. [1]

3 Posouzení dané lokality

3.1 Zvolení vhodné lokality pro návrh FV systému

Správný výběr vhodného stanoviště a dodržení zásad pro dimenzování FV systému je základním předpokladem pro jeho nejefektivnější využití. Při vlastním navrhování je třeba posoudit řadu kritérií:

- *intenzita slunečního záření a doba slunečního svitu*, tyto veličiny jsou ovlivňovány klimatickými podmínkami (oblačnost, znečištění atmosféry),
- *orientace ke světovým stranám*, ideální je na jih či jiho-západ,
- *sklon FV panelů*, optimální sklon k vodorovné rovině je $35^{\circ} - 45^{\circ}$ pro celoroční provoz systému (v celé ČR je rozdíl mezi nejsevernějším a nejjižnějším místem zanedbatelný),
- *zastínění systému*, je závislé na množství stínících překážek, optimální je celodenní a celoplošná dostupnost slunečnímu záření,
- *velikost instalační plochy*, dostatečný prostor pro uvažovaný FVS.

Optimální FV systém musí být navržen individuálně, neboť vstupní veličiny jsou pro konkrétní objekt rozdílné. Při výpočtech se v České republice na různých místech nemůže vycházet ze stejných údajů, přestože se toto území nachází ve stejném klimatickém pásu. Dále je třeba vzít v úvahu jednotlivé parametry budovy, její orientace v krajině, stavební dispozice a konstrukční prvky. Také množství vyrobené energie se bude lišit podle účelu jejího využití. Při dimenzování systému záleží na počtu osob v domácnosti a velikosti domu, zda bude vyrobená energie využita pro ohřev TUV, vytápění či bude zásobovat celý dům elektrickou energií. V neposlední řadě zda bude využití objektu celoroční nebo jen sezónní.

3.2 Solární potenciál lokality

Množství solární energie dopadající na FV panely je v různých lokalitách různé a liší se podle ročního období a klimatických podmínek dané oblasti. Určujícími faktory jsou nadmořská výška, zeměpisná šířka, znečištění ovzduší, odrazivost okolních ploch.

3.2.1 Poloha slunce nad obzorem - parametry

Vzájemná poloha osluněné plochy a poloha slunce nad obzorem určují směr dopadu slunečních paprsků. Poloha slunce nad obzorem se mění v závislosti s časem, zatímco osluněná plocha má polohu stálou určenou orientací ke světovým stranám a úhlem sklonu od vodorovné roviny. Poloha slunce je určena jeho výškou nad obzorem h a jeho azimutem a (obr. 36) ve vztahu:

$$\sin h = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \tau \quad (3.1)$$

$$\sin \alpha = \frac{\cos \delta}{\cos h} \cdot \sin \tau \quad (3.2)$$

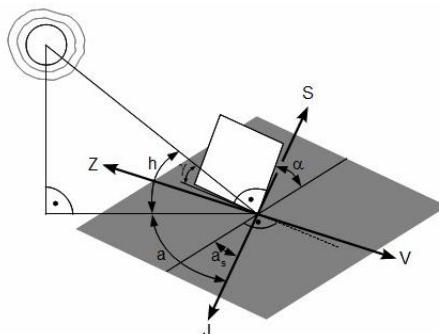
kde δ – sluneční deklinace (zeměpisná šířka), kde v daný den v poledne je slunce kolmo nad obzorem,

φ – zeměpisná šířka,

τ – časový úhel v obloukových stupních měřený od poledne.

Sluneční deklinace má pro každý den jinou hodnotu. Během roku se tedy mění. Pro běžné výpočty se většinou počítá s deklinací pro tzv. charakteristický den v měsíci (často se volí 21. den v měsíci). Pro tento den se počítá intenzita záření a všechny

parametry, které určují polohu slunce nad obzorem, viz obr. 36. Tento údaj pak považujeme za průměrnou hodnotu pro celý příslušný měsíc.



Obr. 36: Dopad slunečního záření na obecně položenou plochu [5]

3.2.2 Součinitel znečištění atmosféry

Intenzita slunečního záření se průchodem atmosférou zmenšuje, vlivem odrazu o částice prachu a o molekuly víceatomových plynů ve vzduchu dochází k rozptylu paprsků. Míru zmenšení intenzity slunečního záření v závislosti na obsahu příměsí ve vzduchu a na atmosférickém tlaku udává tzv. *součinitel znečištění atmosféry*. Ten je definován Linkeho vztahem:

$$Z = \frac{\ln I_0 - \ln I_n}{\ln I_0 - \ln I_\varepsilon} \quad [-] \quad (3.3)$$

kde I_0 – sluneční konstanta (v průměru $1\,360\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$),

I_n – intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při daném znečištění ovzduší,

I_ε – intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při dokonale čistém ovzduší.

Součinitel znečištění ovzduší je vyšší ve městech a průmyslových oblastech ($Z = 5$ až 6) než na venkově či v horských oblastech ($Z = 2$). V daném místě součinitel Z není nikdy stálý. Mění se pozvolna periodicky s denní a roční dobou, krátkodobé vyšší výkyvy jsou pak způsobeny vlivem počasí a výskytem exhalací.

3.2.3 Intenzita globálního záření

Sluneční záření dopadající na zemský povrch se skládá ze dvou částí. Jak již bylo řečeno, jedná se o záření přímé a difúzní, jejichž součtem získáme globální záření.

$$I = I_p + I_D \quad [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}] \quad (3.4)$$

Přímé sluneční záření

Intenzitu záření slunečních paprsků, které dopadají přímo na plochu kolmou ke směru paprsků, nazýváme *přímé sluneční záření*.

$$I_{Pn} = I_0 \cdot \exp\left(-\frac{Z}{\varepsilon}\right) \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (3.5)$$

kde I_0 – sluneční konstanta ($1\,360\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$),

Z – součinitel znečištění atmosféry,

ε – součinitel, který závisí na výšce slunce nad obzorem a na nadmořské výšce daného místa.

Pro součinitel ε platí vztah:

$$\varepsilon = \frac{9,38076[\sin h + (0,003 + \sin^2 h)^{0,5}]}{2,0015(1 - H \cdot 10^{-4})} + 0,91018 \quad [-] \quad (3.6)$$

kde h – výška slunce nad obzorem,

H – nadmořská výška daného místa.

Přímá intenzita slunečního záření na obecně skloněnou plochu, jejíž poloha je určena azimutem a_s a úhlem sklonu α je dána:

$$I_P = I_{Pn} \cdot \cos \gamma \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (3.7)$$

kde γ – úhel dopadu paprsků na osluněnou plochu, pro který platí vztah:

$$\cos \gamma = \sin h \cdot \cos \alpha + \cos h \cdot \sin \alpha \cdot \cos(a - a_s) \quad [-] \quad (3.8)$$

kde α – úhel sklonu osluněné plochy od vodorovné roviny,

a_s – azimutový úhel.

Difúzní sluneční záření

Záření, které je v atmosféře rozptýleno odrazem o částičky prachu, mraky a molekuly plynů ve vzduchu, se označuje jako *difúzní záření*. Na osluněnou plochu současně dopadá část přímého záření odraženého od okolních ploch, je nutné ho připočítat k záření difúznímu. Pro intenzitu difúzního záření platí vztah:

$$I_D = 0,5(1 + \cos \alpha) \cdot I_{Dh} + 0,5r(1 - \cos \alpha) \cdot (I_{Ph} + I_{Dh}) \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (3.9)$$

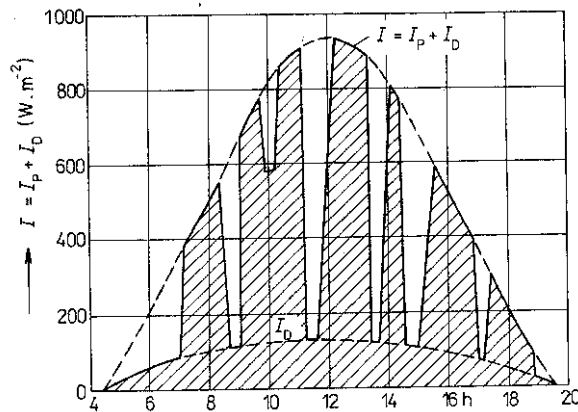
kde α – úhel sklonu osluněné plochy od vodorovné roviny,
 r – reflexní schopnost okolních ploch pro sluneční paprsky
 (tzv. albedo, nejčastěji $r = 0,20$),
 I_{Ph} – intenzita přímého slunečního záření na vodorovnou plochu,
 I_{Dh} – intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu.

Pro intenzity záření I_{Ph} a I_{Dh} platí vztahy:

$$I_{Ph} = I_{Pn} \cdot \sin h \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (3.10)$$

$$I_{Dh} = 0,33 (I_0 - I_{Pn}) \sin h \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (3.11)$$

Na osluněnou plochu dopadá difúzní záření i v době, kdy slunce přímo nesvítí a je mračná obloha. Skutečný průběh intenzity slunečního záření během dne se střídavou oblačností je graficky znázorněn na obr. 37.



Obr. 37: Skutečný průběh intenzity slunečního záření [5]

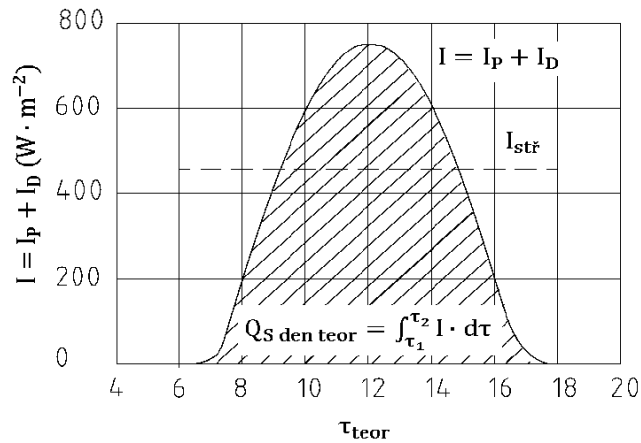
3.2.4 Množství energie dopadající na osluněnou plochu

Teoreticky možné množství energie

Plocha pod křivkou, která udává denní průběh intenzity globálního záření, je rovna energii, která dopadne při jasné obloze na osluněnou plochu za den $Q_{S \text{ den teor}}$ [$Wh \cdot m^{-2}$]. Pro dopadající energii platí vztah:

$$Q_{S \text{ den teor}} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} I dt \quad [Wh \cdot m^{-2}] \quad (3.12)$$

kde τ_1 – čas východu slunce,
 τ_2 – čas západu slunce,
 I – intenzita globálního záření.

Obr. 38: Grafické znázornění energie $Q_{S \text{ den teor}}$ [5]

Střední intenzitu slunečního záření během dne lze následně odvodit s pomocí teoretické doby slunečního svitu τ_{teor} z obr. 38.

$$I_{\text{stř}} = \frac{1}{\tau_{\text{teor}}} \int_{\tau_1}^{\tau_2} I dt = \frac{Q_{S \text{ den teor}}}{\tau_{\text{teor}}} \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (3.13)$$

Z teoretických výpočtů množství energie $Q_{S \text{ den teor}}$ pro různě skloněné plochy je zřejmé, že maximálních hodnot bude dosaženo při orientaci ve směru na jih v měsíci červnu.

Skutečné množství energie

Ve slunečných dnech, kdy svítí slunce nepřetržitě po celou dobu možného slunečního svitu, dopadá na osluněnou plochu teoreticky možné množství energie $Q_{S \text{ den teor}}$. Tento případ je vzácný. Skutečné množství energie zohledňuje, že při jasné obloze působí záření přímé i difúzní a při zatažené obloze jen difúzní. Pro výpočet skutečného množství energie $Q_{S \text{ den}}$ je zapotřebí znát teoretickou dobu slunečního svitu a skutečnou dobu slunečního svitu. Z těchto veličin získáme poměrnou dobu svitu $\bar{\tau}$ ze vzorce:

$$\bar{\tau} = \frac{\tau_{\text{skut}}}{\tau_{\text{teor}}} \quad [-] \quad (3.14)$$

kde τ_{teor} – teoretická doba slunečního svitu – maximální doba slunečního svitu
v daném období (slunce aktivní, obloha bezmračná),
 τ_{skut} – skutečná doba slunečního svitu – počet hodin slunečního svitu
v daném období pro konkrétní oblast.

Pro výpočet skutečného množství energie dopadajícího na osluněnou plochu platí vztah:

- a) pro případ, kdy je solární systém schopen využít pouze přímé záření

$$Q_{S\ den} = \bar{\tau} \cdot Q_{S\ den\ teor} \quad [Wh \cdot m^{-2}] \quad (3.15)$$

- b) pro případ, kdy je solární systém schopen využít přímé i difúzní záření

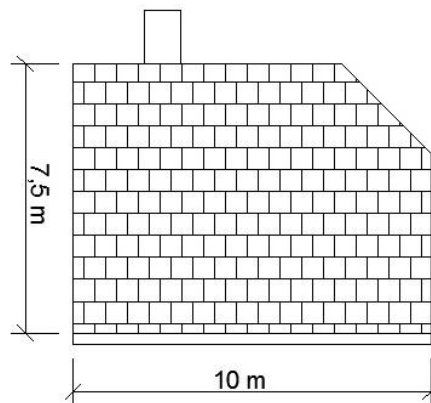
$$Q_{S\ den} = \bar{\tau} \cdot Q_{S\ den\ teor} + (1 - \bar{\tau}) \cdot Q_{D\ den} \quad [Wh \cdot m^{-2}] \quad (3.16)$$

kde $Q_{D\ den}$ – energie difúzního záření.

4 Návrh fotovoltaického systému pro konkrétní dům

4.1 Popis zvoleného objektu

Vybraný rodinný dům se nachází v Třemošné u Plzně v Západních Čechách. Byl postaven jako dvojdomek v roce 1920. Obsahuje jednu bytovou jednotku, která je obývaná celoročně třemi osobami. Dům má sedlovou střechu o velikosti 10 x 7,5 m se sklonem 45° a jedna polovina střechy objektu je orientována jihozápadně s azimutovým úhlem osluněné plochy $a_s = +30^\circ$ (pokud uvažujeme jih = 0°).



Obr. 39: Schéma střechy zvoleného domu [vlastní zdroj]

Úpravy, které majitelé na domě provádějí, jsou jen nezbytné a jen lehce zpomalují stárnutí objektu. Až do roku 1996 se k ohřevu vody a vytápění objektu využíval kotel na tuhá paliva, konkrétně hnědé uhlí. Poté se přešlo na vytápění zemním plynem. V souvislosti s ušetřením nákladů na vytápění jsem ve své bakalářské práci zpracovala návrh vytápění domu na ekologický druh paliva - biomasu, s výběrem vhodného spalovacího zařízení a posouzením návratnosti vložených nákladů. V tomto návrhu nebyl brán ohled na ohřev TUV. Ten je až do současnosti zajišťován elektrickým bojlerem

značky OKCE 160 od firmy Dražice. Dům je napojen přípojkou k vodovodnímu řadu města. Teplota přiváděné vody kolísá v rozmezí 10 - 12 °C.

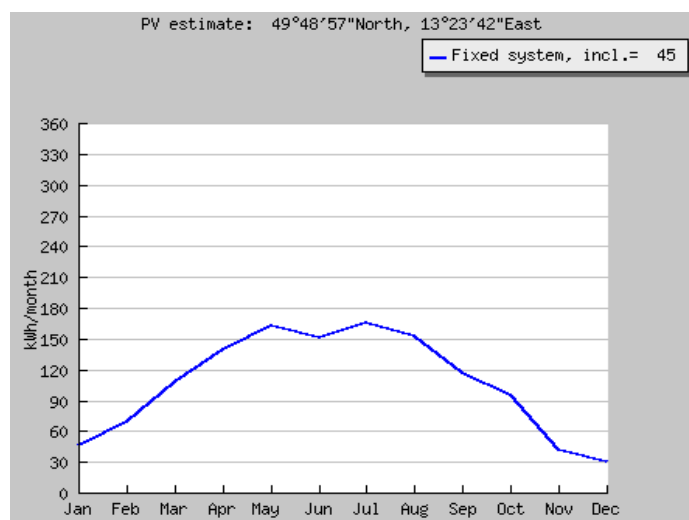
Mým cílem v této práci je navrhnout FV systém pro ohřev vody v tomto objektu a zhodnotit jeho provoz z hlediska energetického, ekonomického i ekologického.

4.2 Zhodnocení stanoviště

K posouzení energetické náročnosti v dané lokalitě jsem použila interaktivní geografický systém PVGIS [28]. Tento systém dokáže s velkou přesností odhadnout roční dopad slunečního záření po zadání vstupních dat. Podobné výpočetní systémy v dnešní době převážně využívají firmy, které návrhy a instalace FV systémů provádějí. Mně tento program umožnil orientačně posoudit, zda je daná lokalita pro návrh vhodná. PVGIS systém na základě GPS souřadnic, sklonu střechy, azimutu, způsobu montáže FV panelu (volně ložený, integrovaný) dokázal vyhodnotit a určit průměrnou produkci elektřiny z daného systému a průměrné množství energie dopadající na danou plochu. Výsledné hodnoty jsou zobrazeny v následující tabulce a grafu převzatých z výpočetního programu.

Tab. 1: Sluneční záření [28]

Pevná systém: sklon = 45 °, orientační = 30 °				
Měsíc	E_d	E_m	H_d	H_m
leden	1,49	46.0	1,19	36.7
únor	2,46	68.9	1,99	55.9
březen	3,50	108	2,93	90.7
duben	4,65	140	4,05	122
květen	5,25	163	4,68	145
červen	5,03	151	4,55	137
červenec	5,35	166	4,88	151
srpen	4,95	153	4,48	139
září	3,91	117	3,43	103
říjen	3,08	95,4	2,61	80.9
listopad	1,39	41.6	1,14	34.2
prosinec	0,98	30.5	0,79	24.5
roční průměr	3,51	107	3,07	93,2
celkem za rok		1280		1120



E_d : Průměrná denní produkce elektřiny z daného systému [kWh]

E_m : Průměrná měsíční výroba elektřiny z daného systému [kWh]

H_d : Průměrný denní úhrn globálního záření na m^2 obdržené moduly daného systému [kWh / m^2],

H_m : Průměrný úhrn globálního záření na m^2 obdržené moduly daného systému [kWh / m^2]

Obr. 40: Výroba elektřiny z daného systému [kWh] [28]

Za pomoci výpočtů z PVGIS systému se můj teoretický předpoklad vhodnosti dané lokality potvrdil. Na základě těchto výpočtů jsem oslovila Český hydrometeorologický ústav, stanici Plzeň Mikulka, pro získání skutečných naměřených hodnot v dané lokalitě. Aby byl návrh přesnější, vzala jsem v úvahu průměr z dat za roky 2011 – 2015 (viz příloha B, tab. B1).

4.2.1 Výběr vhodného systému

Všechny solární systémy nejsou schopny absorbovat samostatné difúzní záření při zatažené obloze, k čemuž je třeba přihlídnout. Z dat poskytnutých CHMÚ jsem z poměru skutečné a teoretické doby slunečního svitu vypočítala poměrnou dobu slunečního svitu. Dále je pro vhodný výběr FV systému nutné určit skutečné množství energie pro oblast Plzeňského kraje. Zpracovaná data pro systémy samostatně využívající difúzní záření a systémy, které nejsou schopny využít samostatné difúzní záření, pro přehlednost uvádím v následující tabulce:

Tab. 2: Hodnoty $\bar{\tau}$, \bar{Q}_s , Q_s , podle rovnice 3.14, 3.15, 3.16

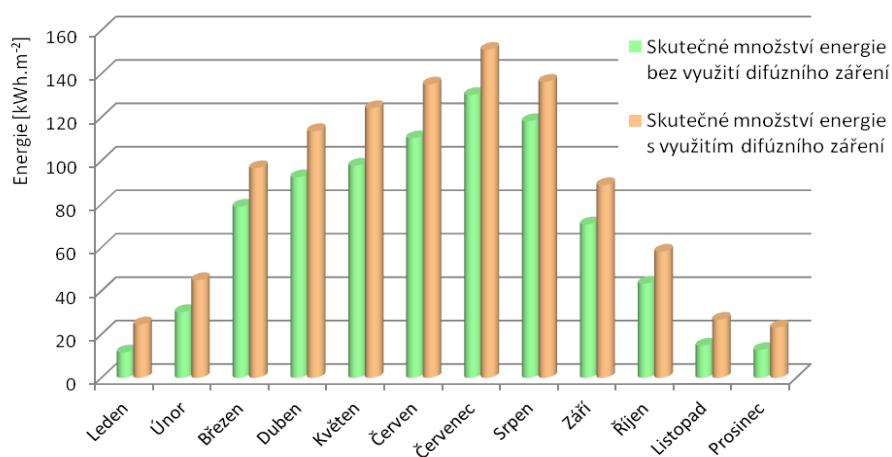
	$\bar{\tau}$ [h]	\bar{Q}_s [kWh.m ⁻²]	Q_s [kWh.m ⁻²]
Leden	0,13	11,69	24,63
Únor	0,24	30,31	44,99
Březen	0,41	78,80	96,54
Duben	0,42	92,36	113,59
Květen	0,39	97,69	124,16
Červen	0,43	110,30	135,09

	$\bar{\tau}$ [h]	\bar{Q}_s [kWh.m ⁻²]	Q_s [kWh.m ⁻²]
Červenec	0,52	130,25	151,08
Srpen	0,52	118,16	136,31
Září	0,38	70,68	88,72
Říjen	0,31	43,34	58,10
Listopad	0,17	14,79	26,74
Prosinec	0,17	12,86	23,15

kde $\bar{\tau}$ – poměrná doba slunečního svitu,

\bar{Q}_s – skutečné množství energie bez využití difúzního záření,

Q_s – skutečné množství energie s využitím difúzního záření.



Obr. 41: Graf množství energie využitelné FV systémy [vlastní zdroj]

Z grafu je patrné, že lépe dokáže využít sluneční energii systém s přímým i difúzním zářením. Na základě získaných údajů jsem se rozhodla pro volbu polykrystalických panelů, které jsou v našich podmínkách více využívány. Konkrétně jsem zvolila typ AS-6P30 od firmy AmeriSolar, z důvodu jeho vysoké účinnosti na rozdíl od FV panelů jiných výrobců. Navíc u těchto panelů výrobce udává 30letou garanci výkonu, vynikající výkon při vysokých teplotách a nízkých světelných podmínkách. Hliníkový rám zajišťuje ochranu před povětrnostními podmínkami (vítr, sníh). FV panel má rozměry 1640 x 992 x 40 mm a obsahuje 60 článků, každý jeden o rozměrech 156 x 156 mm.

4.2.2 Stanovení efektivní účinnosti FV panelu

Účinnost FV panelů při STC je obecně platná a tudíž neodpovídá skutečným podmínkám v dané lokalitě. Stanovení efektivní účinnosti FV panelu je v přímé závislosti na teplotě a intenzitě slunečního záření v mnou vybraném stanovišti. Dalším krokem je nutné vypočítat provozní teplotu FV panelů, dané vztahem:

$$t_{FV} = t_v + k_T \cdot I_{stř} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (4.1)$$

kde t_v – střední teplota v době slunečního svitu [$^{\circ}\text{C}$],

k_T – koeficient určující způsob uložení panelu, roven $0,035 \text{ [}^{\circ}\text{C} \cdot (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})^{-1}\text{]}$,

$I_{stř}$ – střední intenzita slunečního záření [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$].

Tab. 3: Provozní teplota FV panelu t_{FV} [$^{\circ}\text{C}$], podle rovnice 4.1

	t_v [$^{\circ}\text{C}$]	$I_{stř}$ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]	t_{FV} [$^{\circ}\text{C}$]		t_v [$^{\circ}\text{C}$]	$I_{stř}$ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]	t_{FV} [$^{\circ}\text{C}$]
Leden	2,2	351	14,5	Červenec	22,5	515	40,5
Únor	3,4	446	19,0	Srpen	22,6	527	41,0
Březen	6,5	517	24,6	Září	19,4	517	37,5
Duben	12,1	527	30,5	Říjen	13,8	446	29,4
Květen	16,6	515	34,6	Listopad	7,3	351	19,6
Červen	20,6	523	38,9	Prosinec	3,5	311	14,4

Provozní teploty FV panelu slouží pouze jako přibližná hodnota, neboť během výpočtu vycházím z teoretických hodnot střední intenzity a střední doby slunečního svitu. V reálných podmínkách může provozní teplota FV panelu dosáhnout až dvojnásobku. Nicméně je možné v této chvíli určit přibližnou efektivní účinnost FV panelu ze vzorce:

$$\eta_{FV} = \eta_{STC} \cdot (1 - k_{FV} \cdot (t_{FV} - t_{STC})) + \lambda \cdot \log \frac{I_{stř}}{I_{STC}} \quad [-] \quad (4.2)$$

- kde η_{STC} – účinnost při STC pro panel AS-6P30, rovna 0,154,
 k_{FV} – koeficient respektující změnu výkonu s teplotou pro panel AS-6P30, roven 0,0045 [$^{\circ}\text{C}^{-1}$],
 t_{FV} – teplota FV panelu [$^{\circ}\text{C}$],
 t_{STC} – teplota při STC, rovna 25 [$^{\circ}\text{C}$],
 λ – součinitel zohledňující hladinu intenzity dopadajícího slunečního záření, uvažují 0,12,
 $I_{stř}$ – střední intenzita slunečního záření [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$],
 I_{STC} – intenzita záření při STC, rovna 1000 [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$].

Tab. 4: Efektivní účinnost FV panelů η_{FV} [-], podle rovnice 4.2

	η_{FV} [-]		η_{FV} [-]
Leden	0,153	Červenec	0,138
Únor	0,152	Srpen	0,138
Březen	0,149	Září	0,140
Duben	0,145	Říjen	0,144
Květen	0,142	Listopad	0,149
Červen	0,139	Prosinec	0,152

Výrobce udává efektivní účinnost těchto panelů při standardních testovacích STC podmínkách (intenzita záření $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, teplota $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$) 15,4 %. Mnou vypočítaná efektivní účinnost dosahuje v průměru 14,5 %. Z hodnot v tabulce tab. 4 je patrné, že v zimních měsících je účinnosti FV panelů vyšší než v letních. To je způsobeno tím, že se vzrůstající teplotou okolí stoupá provozní teplota FV panelů a ztráty FV systému jsou pak větší.

4.2.3 Stanovení plochy FV panelů

Plochu FV panelů volíme tak, aby pokud možno co nejvíce pokryla spotřebu energie pro ohřev TUV a zároveň nebyla zbytečně předimenzovaná. Pro další výpočty je důležité co nejpřesněji odhadnout vývoj spotřeby teplé vody v rodinném domě a rozdíl teplot ohřáté a studené vody. Hodnoty denní spotřeby vody jsem použila skutečné z dlouhodobého sledování majitelů domu. Ohřev vody uvažuji z $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ na $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) = \rho \cdot V \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \quad [J] \quad (4.3)$$

- kde ρ – hustota pro střední teplotu vody ($40 \text{ }^{\circ}\text{C}$), rovna $992,2 \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}]$,
 V – objem vody [m^3],

c – měrná tepelná kapacita vody, rovna $4180 \text{ [J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$,

t_2 – teplota ohřáté vody, rovna $60 \text{ [}^\circ\text{C}]$,

t_1 – teplota přivedené vody, rovna $10 \text{ [}^\circ\text{C}]$.

K získanému bezztrátovému teplu Q je ještě nutné připočítat výrobcem dané tepelné ztráty boileru, které za 24 hodin činí 1,39 kWh. Hodnoty celkového tepla Q_c potřebného pro ohřev vody, vypočítané dle vzorce 4.4 uvádím v příloze B, tab. B6.

$$Q_c = Q + 1,39 \text{ [kWh]} \quad (4.4)$$

Pro mé další výpočty je nutné znát energii získanou z metru čtverečního FV systému za den či měsíc. Tu určím z vypočítaných hodnot efektivní účinnosti FV panelu a dopadající energie přímého a difúzního záření podle vzorce:

$$Q_{FV} = \eta_{FV} \cdot Q_S \text{ [kWh} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (4.5)$$

Tab. 5: Energie získaná FV články Q_{FV} [kWh.m⁻²], podle rovnice 4.5

	Q_S měsíc [kWh.m ⁻²]	Q_{FV} [kWh.m ⁻²]		Q_S měsíc [kWh.m ⁻²]	Q_{FV} [kWh.m ⁻²]
Leden	24,6	3,8	Červenec	151,1	20,8
Únor	44,9	6,8	Srpen	136,3	18,8
Březen	96,5	14,4	Září	88,7	12,4
Duben	113,6	16,5	Říjen	58,1	8,4
Květen	124,6	17,6	Listopad	26,7	4,0
Červen	135,1	18,8	Prosinec	23,2	3,5

Z poměrného vztahu energie potřebné pro ohřev vody a energie vyrobené jedním metrem čtverečním FV systémem, můžeme stanovit plochu FV panelů, která bude schopna pokrýt 100 % energie potřebné pro ohřev TUV za konkrétní měsíc.

$$S_{FV100\%} = \frac{Q_c}{Q_{FV}} \text{ [m}^2] \quad (4.6)$$

Tab. 6: Plocha FV panelů pro plné pokrytí spotřeby $S_{FV100\%}$ [m²], podle rovnice 4.6

	Q_c [kWh]	Q_{FV} [kWh.m ⁻²]	$S_{FV100\%}$ [m ²]		Q_c [kWh]	Q_{FV} [kWh.m ⁻²]	$S_{FV100\%}$ [m ²]
Leden	303,8	3,8	80,6	Červenec	257,4	20,8	12,4
Únor	245,4	6,8	36,0	Srpen	223,5	18,8	11,9
Březen	309,2	14,4	21,5	Září	254,3	12,4	20,5
Duben	304,4	16,5	18,5	Říjen	273,5	8,4	32,6
Květen	305,7	17,6	17,3	Listopad	290,6	4,0	72,8
Červen	275,0	18,8	14,6	Prosinec	310,9	3,5	88,4

Aktivní plocha FV panelu AS-6P30 od firmy AmeriSolar činí 1,63 m². Z hodnot v tabulce č. 6 je patrné, že v zimních měsících by pro 100 % pokrytí bylo potřeba

48 FV panelů, což není reálná hodnota. V praxi se pro skutečný návrh uvažuje plocha FV panelů potřebná v devátém příp. desátém měsíci v roce. Tím je zaručena dostatečná dodávka energie pro ohřev TUV v jarních a podzimních měsících. V mém případě by pro získání takové velikosti plochy bylo zapotřebí 12 FV panelů, přestože v letních měsících by potřebu pokrylo 9 panelů.

4.3 Výběr a volba komponentů

Při návrhu komponentů FV systému je třeba vědět, co majitel od daného systému očekává a jakou funkci by měl být schopen navržený systém plnit. Základní součástí systému pro ohřev TUV jsou FV panely, nosná konstrukce, kabeláž, bojler. Pro přímý ohřev TUV za využití FV systému, kterým se zabýváme v tomto návrhu, se nabízí několik možných řešení.

První možností je provoz systému s využitím elektrické energie, kdy během letních měsíců FV systém vyrobí více energie než je potřeba. Vzniknou tak přebytky elektrické energie, které lze využít k napájení například domácích spotřebičů. Pro tuto variantu by bylo zapotřebí doplnit sestavu komponentů o střídač, který přebytečnou elektrickou energii transformuje. Cena tohoto zařízení se pohybuje v rozmezí 20 000 – 30 000 Kč podle typu. V mém případě přebytky energie vzniknou pouze ve dvou měsících v roce, a proto pořízení tak drahého zařízení by nebylo ekonomicky výhodné. Vstupní investice by se výrazně prodražila, tím by se prodloužila i doba návratnosti celého systému a navíc energetický zisk by nebyl tak výrazný. Přesto v případě zájmu ze strany majitele lze tento prvek do systému kdykoliv zařadit.

Ve svém návrhu jsem se rozhodla pro druhou variantu, která uvažuje provoz systému pouze pro přímý ohřev TUV bez využití případného přebytku energie. Na základě prostudování dostupných informací a následné konzultace ve firmě Intersekcce alternativní energie s.r.o. jsem zvolila poměrně novou technologii. Touto novou technologií je ohříváč vody od firmy Dražice, který je přímo navržen pro systém obsahující FV panely. Bojler LX ACDC/M+K 160 o objemu 147 litrů obsahuje dvě topná tělesa. Jedno topné těleso používá na ohřev vody střídavý proud z elektrické sítě a druhé využívá stejnosměrný proud z FV panelů.

DC topné těleso umožňuje zapojení tří variant výkonu 1 kW, 1,5 kW a 2 kW. Rozhodla jsem se porovnat a v práci posoudit variantu o výkonu 1,5 kW a variantu

o výkonu 2 kW (viz tab. 7). Ohřívač vody LX ACDC/M+K 160 dále obsahuje dva termostaty každý pro daný typ zdrojů energie. V horní části bojleru je umístěn indikátor teploty, který předává informaci regulátoru systému. Rozsah teplot lze nastavit v rozsahu 5 – 74 °C, přičemž se doporučuje termostat DC tělesa nastavit na vyšší teplotu, než bude nastaven termostat AC tělesa. Ohřívač je dále vybaven stykačem, který jakmile bude dosažena požadovaná teplota, přeruší obvod s fotovoltaickými panely. Nedílnou součástí navrhovaného systému je sada dalších komponentů: FV panely od firmy AmeriSolar, MPPT optimalizér Logitex, elektro instalace a nosné konstrukce.

Tab. 7: Komponenty navržených FV systémů [vlastní zdroj]

Zařízení	Systém o výkonu 1,5 kW		Systém o výkonu 2 kW	
	Počet	Jednotka	Počet	Jednotka
FV panel AS-6P30, 250 Wp polykrystal	6	ks	8	ks
Ohřívač vody LX ACDC/M+K ABC 160	1	ks	1	ks
MPPT optimalizér Logitex LXDC Power box 1 – 2 kW	1	ks	1	ks
Nosná konstrukce FV panelů včetně příslušenství	1	sada	1	sada
Elektro instalace (kabeláž, konektory, jističí a přepěťová ochrana)	1	sada	1	sada

V další části tohoto návrhu obě možnosti porovnam a z propočítaných výsledků posoudím, který FV systém je pro posuzovaný rodinný dům vhodnější.

5 Zhodnocení navrženého systému

5.1 Energetická bilance

Poměr mezi příjmem a výdejem energie se nazývá energetická bilance. O vyvážené energetické bilanci hovoříme ve chvíli, kdy množství vynaložené energie se rovná množství energie spotřebované.

Pro vyhodnocení energetické bilance jsem musela nejdříve určit, kolik energie $Q_{FV \text{ systému}}$ vyrobí navržené FV systémy a kolik energie Q_{EL} je nutno dodat ze sítě, aby bylo zajištěno množství energie Q_c potřebné k ohřevu vody. Pro tento účel jsem nejprve stanovila, kolik energie přemění 1 m² aktivní plochy FV článku. Tyto údaje jsem vypočítala již v kapitole 4.2.3. Množství potřebné získané i dodané energie (viz následující tab. 8, 9) jsem určila pro jednotlivé měsíce v roce.

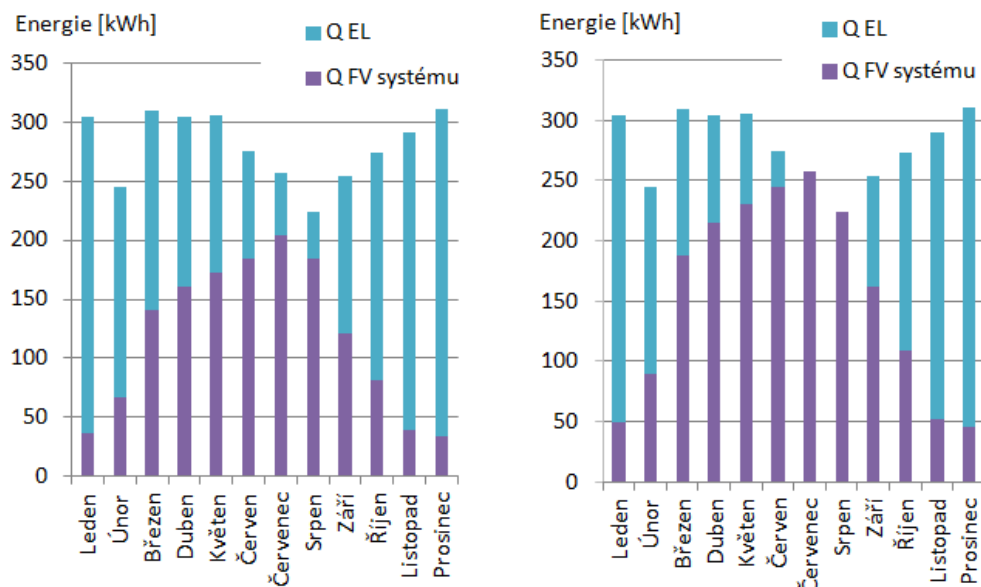
Tab. 8: Energie dodaná 1,5 kW FV systémem a elektrickou sítí [vlastní zdroj]

	Q _c [kWh]	Q _{FV systému} [kWh]	Q _{EL} [kWh]
Leden	303,8	36,9	266,9
Únor	245,4	66,7	178,7
Březen	309,1	140,6	168,5
Duben	304,4	161,1	143,3
Květen	305,6	172,4	133,2
Červen	275,1	183,9	91,2
Červenec	257,4	203,8	53,6
Srpen	223,5	183,7	39,8
Září	254,3	121,5	132,8
Říjen	273,5	82,1	191,4
Listopad	290,6	39,1	251,5
Prosinec	310,9	34,4	276,5
Rok	3353,5	1426,0	1927,5

Tab. 9: Energie dodaná 2 kW FV systémem a elektrickou sítí [vlastní zdroj]

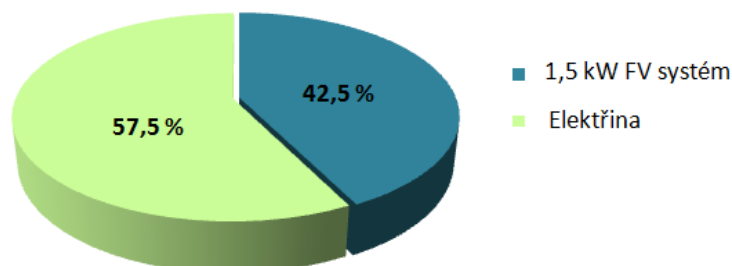
	Q _c [kWh]	Q _{FV systému} [kWh]	Q _{EL} [kWh]
Leden	303,8	49,2	254,6
Únor	245,4	88,9	156,5
Březen	309,1	187,5	121,7
Duben	304,4	214,8	89,6
Květen	305,6	229,9	75,7
Červen	275,1	245,2	29,9
Červenec	257,4	257,4	0,0
Srpen	223,5	223,5	0,0
Září	254,3	161,9	92,4
Říjen	273,5	109,4	164,1
Listopad	290,6	52,1	238,5
Prosinec	310,9	45,9	265,1
Rok	3353,5	1865,4	1488,1

Všechny získané hodnoty pro oba posuzované FV systémy jsem pro lepší názornost zpracovala graficky.

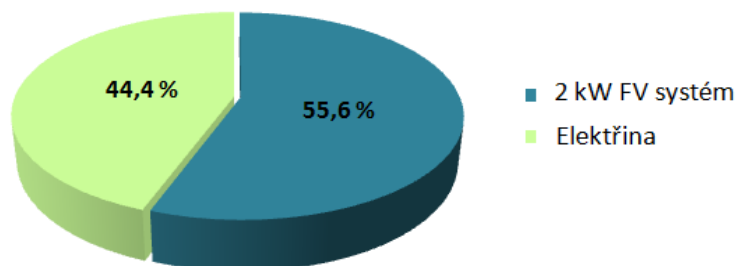


Obr. 42: Grafické znázornění pokrytí energie [vlastní zdroj]

Zpracovaná data lépe posoudím, pokud množství energie vyrobené oběma FV systémy a energie doplněné ze sítě vyjádřím procentuálně za jednotlivé měsíce, což uvádím v příloze B (tab. B7, B8). Roční procentuální potřebu energie získané a energie dodané ze sítě jsem zpracovala graficky.



Obr. 43: Graf spotřeby energie pro ohřev TUV s 1,5 kW systémem [vlastní zdroj]



Obr. 44: Graf spotřeby energie pro ohřev TUV s 2 kW systémem [vlastní zdroj]

Lze předpokládat, že k ohřevu vody bude využita všechna energie vyrobená oběma navrhovanými FV systémy. Ztráty při výrobě energie FV panely a při ohřevu vody jsou minimální a také ztráty v jednotlivých komponentech obou systémů (například kabely) jsou zanedbatelné. Navíc transformace elektrické energie v DC topném tělese je stoprocentně využita.

5.2 Ekonomická bilance a návratnost systému

Pro ekonomické zhodnocení našeho projektu budeme brát v úvahu aktuální ceník firmy SVP solar, s.r.o. Uvedenou firmu jsem zvolila z důvodu transparentnosti a nejvýhodnější cenové nabídky při dodávce komponentů a práce oproti jiným dodavatelským firmám. V celkovém součtu budou zahrnuty ceny jednotlivých komponentů a cena za provedenou práci. Pro výpočet ekonomické návratnosti budu potřebovat cenu za 1 kWh elektřiny. Ta se podle jednotlivých krajů a dodavatelů liší.

Přehled všech komponentů potřebných pro mnou navržené obě sestavy FV systému a jejich počet pro přehlednost uvádím v následující tabulce. Je zde též zohledněná práce nutná na instalaci obou systémů.

Tab. 10: Vstupní náklady na FV systémy [vlastní zdroj]

Položka	Systém o výkonu 1,5 kW			Systém o výkonu 2 kW		
	Počet	Cena/ kus [Kč]	Cena [Kč]	Počet	Cena/ kus [Kč]	Cena [Kč]
FV panel AmeriSolar AS-6P30, 250 Wp	6 ks	5 500	33 000	8 ks	5 500	44 000
Ohřívač Dražice LX ACDC/M+K ABC 160	1 ks	17 000	17 000	1 ks	17 000	17 000
MPPT optimalizér Logitex LXDC Power box 1 – 2 kW	1 ks	8 491	8 491	1 ks	8 491	8 491
Nosná kce FV panelů + příslušenství	1 set	-	6 500	1 set	-	8 500
Solární kabel 1x4 mm ²	38 m	25	950	40 m	25	1 000
Sada konektorů MC4 +,-	14 ks	54	756	18 ks	54	972
Jistič DC	1 ks	796	796	1 ks	796	796
Kombinovaný svodič DC Dehn combo	1 ks	4 000	4 000	1 ks	4 000	4 000
Práce			12 000			14 500
Výsledná cena			83 493			99 259

Dle očekávání cena 1,5 kW FV systému činí 83 493,- Kč a je tedy nižší než cena za 2 kW FV systém 99 259,- Kč, což je dáno vyšším počtem panelů, jednotlivých komponentů a práce. Cena ohřívače vody, MPPT optimalizéru, jističe a kombinovaného svodiče zůstala pro oba systémy stejná.

Doba návratnosti systému udává, za jak dlouho by mělo dojít ke splacení počátečních nákladů. Její výpočet je ovlivněn řadou faktorů, které se mohou v průběhu let měnit, její určení je tedy obtížné. Můj výpočet může ovlivnit například cena elektřiny v jednotlivých letech dále klimatické podmínky, poruchovost prvků v systému či jejich pokles výkonu FV panelů během let, proto stanovení doby návratnosti obou FV systémů je jen předpokládaný odhad.

Při výpočtu přibližné doby návratnosti budu vycházet z průměrné ceny 3,82 Kč/kWh stanovenou Skupinou ČEZ a budu uvažovat, že oba systémy budou pracovat bezporuchově.

Tab. 11: Přehled parametrů k určení doby návratnosti [vlastní zdroj]

	Elektrický ohřev	FV ohřev (1,5 kW)	FV ohřev (2 kW)
Potřebná el. energie [kWh]	3 353,49	1 927,47	1 487,92
Cena za kWh [Kč/kWh]	3,82		
Cena za rok [Kč/rok]	18 2810,33	7 362,94	5 683,85
Úspora za rok [Kč/rok]	-	5 447,40	7 126,48
Vstupní náklady [Kč]	-	83 493,00	99 259,00
Doba návratnosti [roky]	-	15,33	13,93

Z mých výpočtů doby návratnosti vyplývá, že systém se 6 FV panely o výkonu 1,5 kW se ekonomicky zhodnotí za 15,3 let. Systém s 8 FV panely o výkonu 2 kW bude mít návratnost za 13,9 roku, tzn., že z hlediska úspory investic se tento systém jeví ekonomicky výhodnější, byť finanční úspora není až tak výrazná. Pro zefektivnění úspory nákladů v domácnosti bych doporučila využít nízký tarif ceny elektřiny pro ohřev TUV, který může být 8 až 22 hodin denně v závislosti na distribuční sazbě.

5.3 Ekologická bilance

Vedle hlediska energetického a ekonomického je nutné zmínit také přínos ekologický, který se zpravidla stává motivem pro instalaci fotovoltaických systémů. Výroba elektrické energie ze solární energie je bezpečná navíc i šetrná k životnímu prostředí a její přeměna je bez produkce škodlivých látek (toxický odpad, popílek, plyn ani hluk), tedy ekologicky čistá na rozdíl od výroby elektrické energie jadernou elektrárnou či hnědouhelnou. Přehled množství emisí vzniklých při výrobě 1 kWh hnědouhelnou elektrárnou uvádím v následující tabulce:

Tab. 12: Emise při výrobě elektrické energie hnědouhelnou elektrárnou [31]

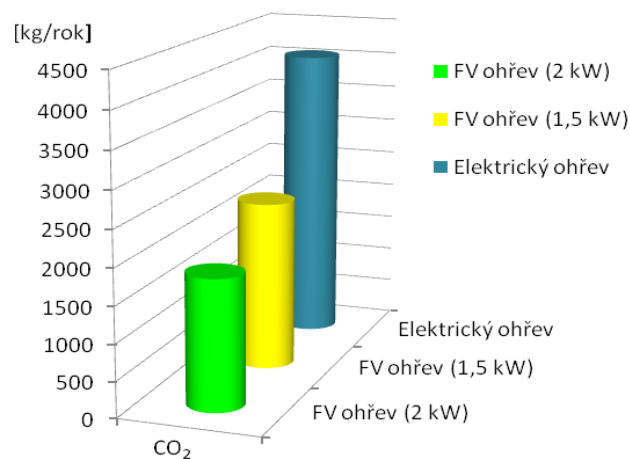
Tuhé látky [kg/ kWh]	0,003
NO _x [kg/ kWh]	0,0077
SO ₂ [kg/ kWh]	0,0052
CO [kg/ kWh]	0,00065
CO ₂ [kg/ kWh]	1,213

Následující tabulka ukazuje přehled roční produkce emisí v kilogramech vzniklých při výrobě elektrické energie hnědouhelnou elektrárnou použitou pro ohřev vody TUV pouze elektrickou energií a ohřev vody TUV elektrickou energií spolu s FV systémy o různém výkonu.

Tab. 13: Roční produkce emisí FV systémy [vlastní zdroj]

	Elektrický ohřev	FV ohřev (1,5 kW)	FV ohřev (2 kW)
Potřebná el. energie [kWh]	3353,49	1927,47	1487,92
Tuhé látky [kg/ rok]	10,06	5,78	4,46
NO _x [kg/ rok]	25,82	14,84	11,46
SO ₂ [kg/ rok]	17,44	10,02	7,74
CO [kg/ rok]	2,18	1,25	0,97
CO ₂ [kg/ rok]	4067,78	2338,02	1804,85

Z našeho přehledu vyplývá, že při použití samotného elektrického ohřevu se vyprodukuje dvojnásobné množství nežádoucích emisí ročně oproti využití FV systémů. Použitím 2 kW FV ohřevu, na rozdíl od 1,5 kW FV ohřevu, dojde k vyššímu pokrytí spotřeby elektrickou energií ze slunečního záření a navíc produkce emisí je o 1,3 násobku nižší. Například produkce CO₂ je o 500 kg/rok menší (obr. 45), tudíž tento systém je z hlediska životního prostředí šetrnější.



Obr. 45: Grafické znázornění roční produkce CO₂ [vlastní zdroj]

Pro celkový environmentální přínos fotovoltaických systémů je vhodné přihlídnout k životnímu cyklu všech komponentů podle LCA metody.

Závěr

Ve své diplomové práci jsem nejprve přehledně zpracovala základní informace o Slunci a slunečním záření, o solární energii. Podrobněji jsem se zaměřila na jednotlivé druhy přeměn a využití solární energie. V druhé části práce jsem se zaměřila na historii fotovoltaiky. Nastínila jsem vývoj FV článku, popsala jsem jeho princip, výrobu, rozdělení a jednotlivé typy. Následně jsem uvedla konstrukční řešení FV systémů a jejich realizaci z hlediska provozu. Ve třetí části jsem teoreticky shrnula důležité matematické postupy a veličiny. Ty jsem následně v další části využila pro vlastní návrh FV systému pro ohřev TUV v konkrétním rodinném domě. Z mých výpočtů je patrné, že pro pokrytí potřeby rodinného domu pro ohřev TUV je zapotřebí 12 FV panelů, pokud bychom brali v úvahu jen letní měsíce, stačilo by 9 FV panelů. Pro ohřev vody v rodinném domě jsem navrhla vhodný typ ohříváče LX ACDC/M+K 160 od firmy Dražice a další komponenty důležité k správnému fungování celé sestavy.

V závěrečné části jsem porovнала FV systém o výkonu 1,5 kW se 6 FV panely a FV systém o výkonu 2 kW s 8 FV panely a propočítala, který z obou FV systémů bude energeticky výhodnější. Z mých výpočtů je patrné, že při použití FV systému se 6 FV panely je zapotřebí dodat v průběhu roku téměř 58 % elektrické energie ze sítě, oproti tomu FV systém s 8 panely využije až 56 % elektrické energie transformované ze slunce, což znamená pro majitele domu větší úsporu. Investiční náklady FV systému se 6 FV panely činí 83 493,- Kč a jejich návratnost je 15,3 roku. Cena druhého systému s 8 FV panely je 99 259,- Kč, s dobou návratnosti 13,9 let. Náklady na pořízení druhého systému jsou sice vyšší o necelých 16 tisíc, ale doba návratnosti je přibližně o 1,5 roku kratší. Pro výpočet doby návratnosti беру v úvahu průměrné podmínky slunečního svitu pro následující roky stejné, konstantní účinnost FV panelů, bezporuchovost systému a neměnnou cenu elektřiny. Lze tedy říci, že mnou spočtená doba návratnosti je orientační. Vzhledem k ušetření elektrické energie nutné pro ohřev vody je environmentální dopad obou FV systémů velice nízký, přesto je FV systém s 8 panely pro životní prostředí ještě šetrnější a méně zatěžující.

Závěrem lze říci, že pro ohřev vody v posuzovaném rodinném domě preferuji zvolit FV systém o výkonu 2 kW s 8 FV panely, neboť z hlediska energetického, ekonomického i ekologického je pro ohřev TUV v rodinném domě výhodnější.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] MURTINGER, K., BERANOVSKÝ, J., TOMEŠ, M. *Fotovoltaika. Elektřina ze Slunce*. 2. vydání. Brno: EkoWATT, ERA group spol. s r.o., 2008. 81 stran. ISBN 978-80-7366-133-5
- [2] HASELHUHN, R. *Fotovoltaika. Budovy jako zdroj proudu*. 1. české vydání. Ostrava: HEL, 2010. 176 stran. ISBN 978-80-86167-33-6
- [3] BERANOVSKÝ, J., TRUXA, J. *Alternativní energie pro Váš dům*. 2. aktualizované vydání. Brno: EkoWATT, ERA group spol. s r.o., 2004. 138 stran. ISBN 80-86517-89-6
- [4] LIBRA, M., POULEK, V. *Fotovoltaika. Teorie i praxe využití solární energie*. 1. vydání. Praha: ILSA, 2009. 160 stran. ISBN 978-80-904311-0-2
- [5] CIHELKA, J. *Solární tepelná technika*. 1. vydání. Praha: Nakladatelství T. Malina, 1994. 208 stran. ISBN 80-900759-5-9
- [6] Wikipedie [online]. 2011, [cit. 23.11.2015]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavní_strana>
- [7] Autorský tým: *Hvězdy* [online]. 2016, [cit. 12.1.2016]. Dostupný z WWW: <<http://astronomia.zcu.cz/hvezdy/slunce/730-vyvoj-slunce>>
- [8] Wikipedie: *Elektromagnetické spektrum* [online]. 2011, [cit. 31.1.2016]. Dostupný z WWW: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_spektrum>
- [9] GC SKUPINA: *Proč si pořídit solární ohřev vody?* [online]. 2014, [cit. 31.1.2016]. Dostupný z WWW: <<http://www.gc-solarni-sety.cz/informace/solarni-ohrev-vody/>>
- [10] Peterka, J.: *Ohřev vody a vzduchu* [online]. 2016, [cit. 6.2.2016]. Dostupný z WWW: <<http://www.energetika.cz/?id=103>>
- [11] Kusala, J.: *Solární energie* [online]. 2006, [cit. 6.2.2016]. Dostupný z WWW: <<https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/solar.htm>>
- [12] EnviWeb: *Z historie fotovoltaiky* [online]. 2013, [cit. 6.2.2016]. Dostupný z WWW: <<http://www.enviweb.cz/clanek/fotovolt/95784/z-historie-fotovoltaiiky>>
- [13] Bechník, B.: *Stručná historie fotovoltaiky* [online]. 2014, [cit. 6.2.2016]. Dostupný z WWW: <<http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaiika/11652-strucna-historie-fotovoltaiiky>>
- [14] Diviš, J.: *Základy elektroniky* [online]. 2015, [cit. 13.2.2016]. Dostupný z WWW: <<http://www.spsemoh.cz/vyuka/zeldiody.htm>>
- [15] Czech RE Agency: *Fotovoltaika pro každého* [online]. 2009, [cit. 13.2.2016]. Dostupný z WWW: <<http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaiika#hist>>

- [16] ELEKTROVEGA: *Co je to fotovoltaika* [online]. 2009, [cit. 13.2.2016]. Dostupný z WWW: <<http://www.elektrovega.cz/info.php>>
- [17] RD Solar: *Solární panely* [online]. 2015, [cit. 13.2.2016]. Dostupný z WWW: <<http://www.rdsolar.cz/sluzby/solarni-panely/>>
- [18] General energy: *FVE panel* [online]. 2009, [cit. 13.2.2016]. Dostupný z WWW: <<http://www.stresniinstalace.cz/fotovoltaika/fve-panel/>>
- [19] Green Technology s.r.o.: *Fotovoltaika* [online]. 2007, [cit. 20.2.2016]. Dostupný z WWW: <<http://www.green-t.cz/fotovoltaika>>
- [20] W.E.B Větrná energie s.r.o.: *Fotovoltaika* [online]. 2010, [cit. 20.2.2016]. Dostupný z WWW: <http://www.vetrna-energie.cz/energie-zivlu/slunce_11>
- [21] SOLARENVI: *Sluneční energie* [online]. 2009, [cit. 1.3.2016]. Dostupný z WWW: <<http://www.solarenavi.cz/c-5-solarni-elektrarny.html>>
- [22] TZB-info: *Možnosti instalace fotovoltaických elektráren* [online]. 2007, [cit. 20.3.2016]. Dostupný z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/4536-moznosti-instalace-fotovoltaickych-elektraren>>
- [23] Český internet s.r.o.: *Nechte střechu pracovat* [online]. 2013, [cit. 20.3.2016]. Dostupný z WWW: <<http://www.ceskestavby.cz/clanky/nechte-strechu-pracovat-21990.html>>
- [24] Solární Novinky: *V Polsku vznikla největší solární elektrárna na trackerech* [online]. 2015, [cit. 20.3.2016]. Dostupný z WWW: <<http://www.solarninovinky.cz>>
- [25] DOMA Solární systémy: *Multitalent pro výstavbu fotovoltaických zařízení* [online], [cit. 20.3.2016]. Dostupný z WWW: <<http://www.fvsystemy.cz>>
- [26] EkoWATT: *Fotovoltaičné panely* [online]. 2011, [cit. 20.3.2016]. Dostupný z WWW: <<http://www.ekowatt.cz>>
- [27] Astro: *Energie ze Slunce* [online]. 2010, [cit. 25.3.2016]. Dostupný z WWW: <http://www.astro-grpr.wz.cz/iHy/files/fyzikalni_teorie.html>
- [28] PVGIS online: *PVGIS Interaktivní mapy* [online]. 2010, [cit. 26.3.2016]. Dostupný z WWW: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe>>
- [29] Český hydrometeorologický ústav: *Stanice Plzeň – Mikulka* [online], [cit. 30.3.2016]. Dostupný z WWW: <<http://portal.chmi.cz/>>
- [30] SVP Solar [online], [cit. 10.4.2016]. Dostupný z WWW: <<http://www.svp-solar.cz>>
- [31] SRDEČNÝ, K., TRUXA, J. *Obnovitelné zdroje energie v jižních Čechách a horním Rakousku*. Praha: EkoWATT, 2000. 77 stran. ISBN: 80-238-6584-6

Seznam obrázků

Obr. 1: Slunce [4].....	11
Obr. 2: Spektrum elektromagnetického záření [8]	12
Obr. 3: Přeměna energie slunečního záření dopadajícího na Zemi [5]	13
Obr. 4: Roční průměrný úhrn globálního záření dopadající v České republice [$kWh \cdot m^{-2}$] [9].....	14
Obr. 5: Pasivní přeměna [11].....	14
Obr. 6: Alexandre Edmond Becquerel [6].....	17
Obr. 7: Russel Ohl [6].....	17
Obr. 8: Kosmická družice Vanguard I [6]	18
Obr. 9: PN přechod s dopadajícím světlem [14]	19
Obr. 10: Konstrukce krystalického křemíkového solárního článku [22]	19
Obr. 11: Ukázka skladby FV modulu a FV pole [16]	20
Obr. 12: Struktura FV panelu [17].....	20
Obr. 13: Schematické znázornění výroby fotovoltaických článků [4].....	21
Obr. 14: Hrudky čistého křemíku [18].....	21
Obr. 15: Křemíkový ingot [6]	21
Obr. 16: Výrobní řetězec [19]	22
Obr. 17: Graf výroby FV panelů v roce 2009 [vlastní zdroj]	24
Obr. 18: Křemíkový ingot [18]	25
Obr. 19: Monokrystalický fotovoltaický článek [15]	25
Obr. 20: Polykrystalické fotovoltaické články [15]	26
Obr. 21: Amorfní tenkovrstvé fotovoltaické články [20, 18].....	27
Obr. 22: Solární nabíječka mobilního telefonu [15]	27
Obr. 23: Loď s fotovoltaickým systémem [15].....	28
Obr. 24: Systém s přímým napájením [21]	29
Obr. 25: Systém s akumulací elektrické energie (12V i 230V) [21].....	29
Obr. 26: Hybridní systém s akumulací energie a záložním zdrojem [21].....	30
Obr. 27: Systém připojený k distribuční síti pro výhradní prodej energie [21].....	30
Obr. 28: Systém pro vlastní spotřebu a prodej přebytků do sítě [21].....	31
Obr. 29: Systém velkých FV elektráren [21]	31
Obr. 30: Graf měsíční výroby FV panely [vlastní zdroj]	32
Obr. 31: Pevná instalace FV panelů [23].....	32
Obr. 32: Jednoosý polohovací systém [24]	33
Obr. 33: Dvouosý polohovací systém [25]	33
Obr. 34: Schéma příčného řezu [22]	34
Obr. 35: TRAXLE [22]	34
Obr. 36: Dopad slunečního záření na obecně položenou plochu [5]	38
Obr. 37: Skutečný průběh intenzity slunečního záření [5].....	40
Obr. 38: Grafické znázornění energie $Q_{S \text{ den teor}}$ [5]	41
Obr. 39: Schéma střechy zvoleného domu [vlastní zdroj].....	42
Obr. 40: Výroba elektřiny z daného systému [kWh] [28].....	43
Obr. 41: Graf množství energie využitelné FV systémy [vlastní zdroj].....	44
Obr. 42: Grafické znázornění pokrytí energie [vlastní zdroj]	50
Obr. 43: Graf spotřeby energie pro ohřev TUV s 1,5 kW systémem [vlastní zdroj]	51
Obr. 44: Graf spotřeby energie pro ohřev TUV s 2 kW systémem [vlastní zdroj]	51
Obr. 45: Grafické znázornění roční produkce CO_2 [vlastní zdroj].....	54

Seznam tabulek

Tab. 1: Sluneční záření [28]	43
Tab. 2: Hodnoty $\bar{\tau}$, \bar{Q}_s , Q_s , podle rovnice 3.14, 3.15, 3.16	44
Tab. 3: Provozní teplota FV panelu t_{FV} [°C], podle rovnice 4.1	45
Tab. 4: Efektivní účinnost FV panelů η_{FV} [-], podle rovnice 4.2	46
Tab. 5: Energie získaná FV články Q_{FV} [kWh.m ⁻²], podle rovnice 4.5	47
Tab. 6: Plocha FV panelů pro plné pokrytí spotřeby $S_{FV 100\%}$ [m ²], podle rovnice 4.6	47
Tab. 7: Komponenty navržených FV systémů [vlastní zdroj]	49
Tab. 8: Energie dodaná 1,5 kW FV systémem a elektrickou sítí [vlastní zdroj]	50
Tab. 9: Energie dodaná 2 kW FV systémem a elektrickou sítí [vlastní zdroj]	50
Tab. 10: Vstupní náklady na FV systémy [vlastní zdroj]	52
Tab. 11: Přehled parametrů k určení doby návratnosti [vlastní zdroj]	53
Tab. 12: Emise při výrobě elektrické energie hnědouhelnou elektrárnou [30]	53
Tab. 13: Roční produkce emisí FV systémy [vlastní zdroj]	54

Přílohy

Příloha A – Solární elektrárny [27]

FV elektrárna



Solární věžová elektrárna



Solární žlaby



Solární talíř



Příloha B – Návrh FV systému pro RD

Tab. B1 - Skutečná doba slunečního svitu pro 50°s.š. τ_{skut} [h] [CHMÚ]

	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	
ϕ 2011 a 2012	51,4	97,4	183,5	199,4	283,6	203,8	
2013	21,4	22,9	107,2	128,2	112,4	198,5	
2014	35,8	67,8	167,0	165,4	181,6	258,5	
2015	26,7	83,1	150,5	207,8	182,1	181,5	
průměr	33,8	67,8	152,1	175,2	189,9	210,6	
	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	ROK
ϕ 2011 a 2012	188,1	226,3	187,8	105,5	44,9	40,8	1812,5
2013	310,2	229,2	122,7	136,9	32,4	51,3	1473,3
2014	237,8	159,4	105,6	67,7	27,2	12,7	1486,5
2015	273,1	276,0	137,1	84,5	59,2	58,2	1719,8
průměr	252,3	222,7	138,3	98,7	40,9	40,75	1623,0

Tab. B2 - Teoretická doba slunečního svitu pro 50°s.š. τ_{teor} [h] [5]

	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen
Za den	8,3	10,1	12,0	13,9	15,7	16,3
Za měsíc	256,1	283,4	372,0	417,0	486,7	490,2
	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Za den	15,7	13,9	12,0	10,1	8,3	7,9
Za měsíc	486,7	430,9	360,0	313,7	247,8	243,4

Tab. B3 – Poměrná doba slunečního svitu $\bar{\tau}$ [h], rovnice 3.14

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,13	0,24	0,41	0,42	0,39	0,43	0,52	0,52	0,38	0,31	0,17	0,17

Tab. B4 – Teoreticky možná energie dopadající na plochu $Q_{S\text{teor}}$ [kWh·m⁻²] (při sklonu 45°, azimut 30°) [5]

	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen
Za den	2,90	4,51	6,20	7,33	8,08	8,55
Za měsíc	89,90	126,28	192,20	219,90	250,48	256,50
	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Za den	8,08	7,33	6,20	4,51	2,90	2,44
Za měsíc	250,48	227,23	186,00	139,81	87,00	75,64

Tab. B5 – Energie difúzního záření Q_D [kWh·m⁻²] [5]
(při 45°, znečištění Z=3)

	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen
Za den	0,48	0,69	0,97	1,22	1,40	1,45
Za měsíc	14,88	19,32	30,07	36,60	43,40	43,50
	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Za den	1,40	1,22	0,97	0,69	0,48	0,40
Za měsíc	43,40	37,82	29,10	21,39	14,40	12,40

Tab. B6 - Energie pro ohřev Q_c [kWh], rovnice 4.3, 4.4

	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen
V [m ³]	0,146	0,128	0,149	0,152	0,147	0,135
V za měsíc [m ³]	4,53	3,59	4,62	4,56	4,56	4,05
Q [MJ]	938,56	743,21	957,84	945,61	944,99	839,85
Q kWh]	260,73	206,46	266,09	262,69	262,52	233,31
Q _c [kWh]	303,82	245,38	309,18	304,39	305,61	275,01
	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
V [m ³]	0,120	0,101	0,123	0,129	0,144	0,150
V za měsíc [m ³]	3,72	3,13	3,69	3,99	4,32	4,65
Q [MJ]	771,42	649,27	765,20	829,27	895,84	964,27
Q kWh]	214,30	180,37	212,57	230,37	248,86	267,87
Q _c [kWh]	257,39	223,46	254,27	273,46	290,56	310,96

Tab. B7 – Procentuální pokrytí spotřeby 1,5 kW FV systémem

	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	
Q _{FV systému} [%]	12,14	27,18	45,49	52,92	56,42	66,86	
Q _{EL} [%]	87,86	72,82	54,51	47,08	43,58	33,14	
	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	ROK
Q _{FV systému} [%]	79,19	82,19	47,77	30,01	13,43	11,07	42,52
Q _{EL} [%]	20,81	17,81	52,23	69,99	86,57	88,93	57,48

Tab. B8 – Procentuální pokrytí spotřeby 2 kW FV systémem

	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	
Q _{FV systému} [%]	16,18	36,24	60,65	70,56	75,23	89,14	
Q _{EL} [%]	83,82	63,76	39,35	29,44	24,77	10,86	
	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	ROK
Q _{FV systému} [%]	100,00	100,00	63,69	40,01	17,91	14,76	55,63
Q _{EL} [%]	0,00	0,00	36,31	59,99	82,09	85,24	44,37

Příloha C – Boiler LX ACDC/M+K 160 [30]

SCHÉMA PŘIPOJENÍ:

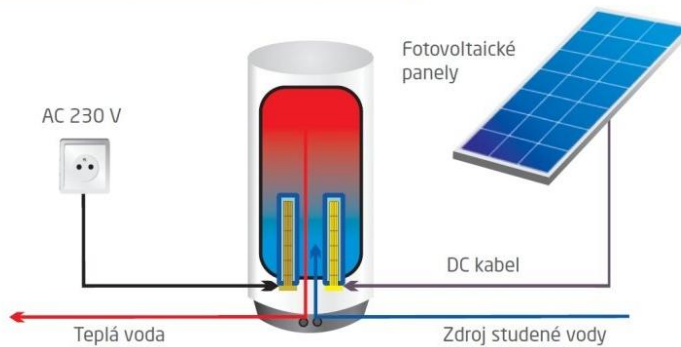
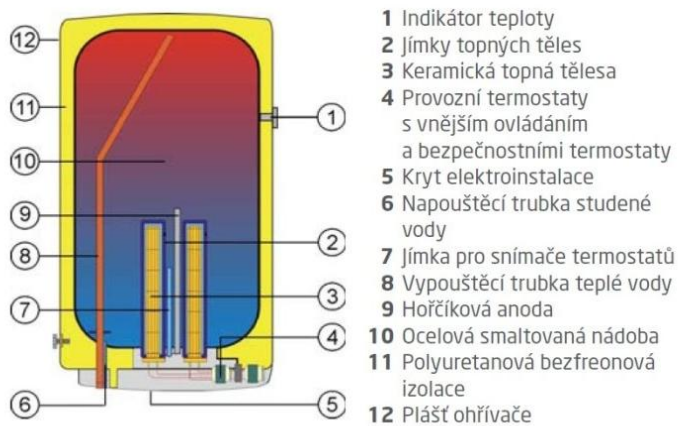
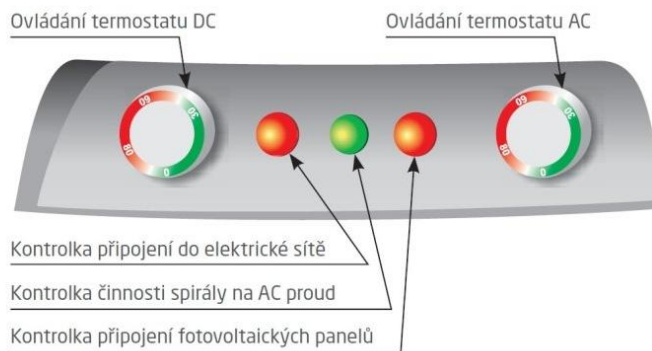


SCHÉMA OHŘÍVAČE:



SNADNÁ OBSLUHA:



Příloha D – Technická specifikace FV panelu AS-6P30 [30]



New Energy

New World

Worldwide Energy and Manufacturing USA Co., Limited

AS-6P30

Amerisolar's photovoltaic modules are designed for large electrical power requirements. With a 30-year warranty, AS-6P30 offers higher-powered, more reliable performance for both on-grid and off-grid solar projects.

Key Features

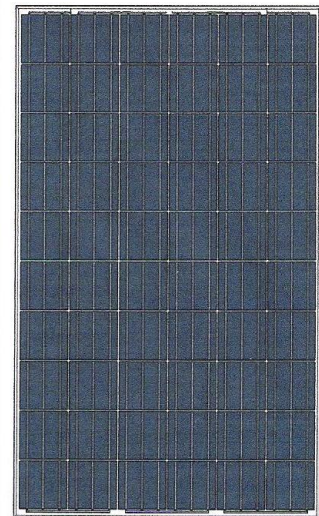
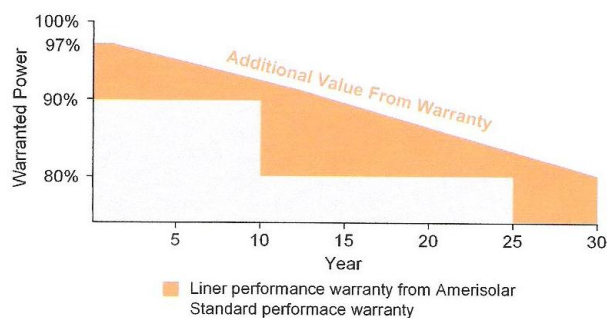
- High module conversion efficiency up to 16.29% through superior manufacturing technology.
- Low degradation and excellent performance under high temperature and low light conditions.
- Robust aluminum frame ensures the modules to withstand wind loads up to 2400Pa and snow loads up to 5400Pa.
- Positive power tolerance of 0 ~ +3 %.
- High ammonia and salt mist resistance.

Quality Certificates

- IEC61215, IEC61730, IEC62716, IEC61701, UL1703, CE, MCS, CEC, Israel Electric, Kemco
- ISO9001:2008: Quality management system
- ISO14001:2004: Environmental management system
- OHSAS18001:2007: Occupational health and safety management system

Special Warranties

- 12 year limited product warranty.
- Limited power warranty: 12 years 91.2% of the nominal power output, 30 years 80.6% of the nominal power output.



Passionately committed to delivering innovative energy solution

www.weamerisolar.com

Electrical Characteristics

Electrical parameters at STC							
Nominal Power (P _{max})	235W	240W	245W	250W	255W	260W	265W
Open Circuit Voltage (V _{OC})	37.5V	37.7V	37.9V	38.0V	38.1V	38.2V	38.3V
Short Circuit Current (I _{SC})	8.48A	8.57A	8.66A	8.75A	8.83A	8.90A	8.98A
Voltage at Nominal Power (V _{mp})	29.7V	29.9V	30.1V	30.3V	30.5V	30.7V	30.9V
Current at Nominal Power (I _{mp})	7.92A	8.03A	8.14A	8.26A	8.37A	8.47A	8.58A
Module Efficiency (%)	14.44	14.75	15.06	15.37	15.67	15.98	16.29

STC: Irradiance 1000W/m², Cell temperature 25°C, AM1.5

Electrical parameters at NOCT							
Nominal Power (P _{max})	172W	175W	179W	183W	186W	190W	194W
Open Circuit Voltage (V _{OC})	34.5V	34.7V	34.9V	35.0V	35.1V	35.2V	35.3V
Short Circuit Current (I _{SC})	6.87A	6.94A	7.01A	7.09A	7.15A	7.21A	7.27A
Voltage at Nominal Power (V _{mp})	27.0V	27.2V	27.4V	27.6V	27.8V	27.9V	28.1V
Current at Nominal Power (I _{mp})	6.38A	6.44A	6.54A	6.64A	6.70A	6.81A	6.91A

NOCT: Irradiance 800W/m², Ambient temperature 20°C, Wind speed 1 m/s

Mechanical Characteristics

Cell type	Polycrystalline 156x156mm
Number of cells	60 (6x10)
Module dimension	1640x992x40mm
Weight	18.5kg
Front cover	3.2mm low-iron tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy
Junction box	IP67, 6 diodes
Cable	4mm ² , 900mm
Connector	MC4 or MC4 compatible
Standard packaging	26pcs/pallet
Module quantity per container	728pcs/40'HQ

Temperature Characteristics

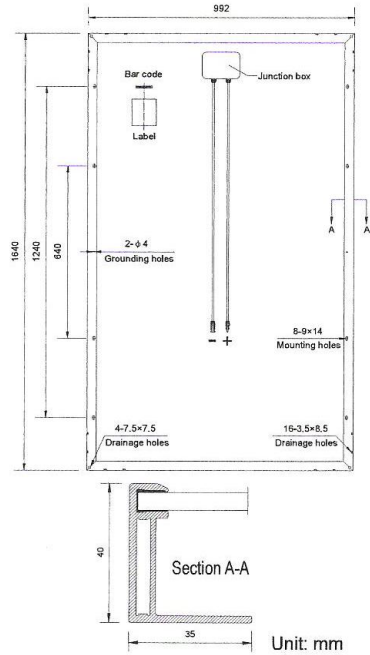
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C±2°C
Temperature Coefficients of P _{max}	-0.43%/°C
Temperature Coefficients of V _{OC}	-0.33%/°C
Temperature Coefficients of I _{SC}	0.056%/°C

Maximum Ratings

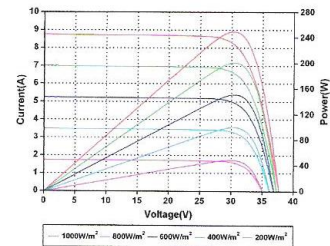
Operating Temperature	-40°C to +85°C
Maximum System Voltage	1000V DC
Maximum Series Fuse Rating	15A

Specifications in this datasheet are subject to change without prior notice.

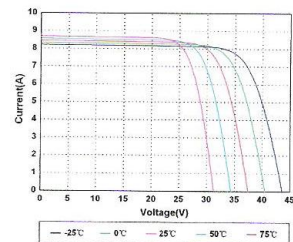
Drawings



I-V Curves



Current-Voltage and Power-Voltage Curves at Different Irradiances



Current-Voltage Curves at Different Temperatures

Worldwide Energy and Manufacturing USA Co., Limited

Tel: +1-650-777-7606

Email: sales@weamerisolar.com

www.weamerisolar.com

EN-V1.0 Copyright © 2014 Worldwide Energy and Manufacturing USA Co., Limited.