



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

## ZPRACOVÁNÍ PROJEKTU FVE PRO KOMERČNÍ OBJEKT

PROJECT OF PV SYSTEM FOR A COMMERCIAL BUILDING

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Daniel Zeman

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

BRNO 2016



# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

**Student:** Daniel Zeman

**ID:** 168636

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2015/16

## NÁZEV TÉMATU:

### Zpracování projektu FVE pro komerční objekt

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Popište princip funkce FV panelů a podmínky pro konstrukci FV systémů.
2. Definujte rozdíly mezi jednotlivými typy FV systémů (grid-on, grid-off, hybrid).
3. Pro vybraný objekt proveďte návrh FV systému dle platných legislativních podmínek.
4. Pro navržené technické řešení proveďte energeticko-ekonomickou analýzu a zhodnoťte možnosti provozu.

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

**Termín zadání:** 8.2.2016

**Termín odevzdání:** 24.5.2016

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

**Konzultant bakalářské práce:**

**doc. Ing. Petr Toman, Ph.D., předseda oborové rady**

#### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

ZEMAN, D. Zpracování projektu FVE pro komerční objekt. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 62 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Zde bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce panu doc. Ing. Petru Mastnému Ph.D. za veškeré rady, připomínky, informace a odpovědi na mé někdy ne moc chytré dotazy a za trpělivost při konzultacích.

.....



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií  
Ústav elektroenergetiky**

**Bakalářská práce**

# **Zpracování projektu FVE pro komerční objekt**

**Daniel Zeman**

**vedoucí: doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.**

**Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2016**

**Brno**



**BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

**Faculty of Electrical Engineering and Communication  
Department of Electrical Power Engineering**

**Bachelor's Thesis**

# **Project of PV System for a Commercial Building**

by

**Daniel Zeman**

**Supervisor: doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.**

**Brno University of Technology, 2016**

**Brno**

**ABSTRAKT**

Cílem této bakalářské práce je popsat základní principy funkce FV panelů a definovat podmínky pro konstrukci FV systémů. Definovat rozdíly mezi jednotlivými typy FV systémů a pro vybraný objekt zpracovat návrh systému dle platných legislativních podmínek. Pro navržené technické řešení zpracovat komplexní energeticko-ekonomickou analýzu provedeného návrhu. Práce také obsahuje postupy pro výpočet jednotlivých parametrů, které je potřeba znát pro správný návrh celého systému v dané lokalitě při teplotních změnách a změnách intenzity slunečního záření.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** Hybridní FV systém; Návrh FV systému; FV systém; Výpočet parametrů FV panelů; Fotovoltaický systém; Návrh fotovoltaického systému; FV systém pro komerční objekt

**ABSTRACT**

The main purpose of this work is to describe the basic principles of PV modules and to define the conditions for the construction of PV systems. Define the differences between the various types of PV systems and for the selected object handle system design in accordance with applicable legal conditions. For the proposed technical solution to handle complex energy-economic analysis conducted by the proposal. The work also includes procedures for calculating the various parameters that have been known for the correct design of the entire system in a given location during temperature changes and changes in solar irradiance.

**KEY WORDS:** Hybrid PV system; Plant design; PV system; Calculation parameters of the PV modules; The photovoltaic system; Design of a photovoltaic system; PV systems for commercial building

## OBSAH

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>10</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>11</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>12</b>
<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>14</b>
<b>2 PRINCIP FUNKCE FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU A MODULU .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 FOTOVOLTAICKÝ ČLÁNEK .....</b>	<b>15</b>
2.1.1 PRINCIP FUNKCE .....	15
<b>2.2 FOTOVOLTAICKÝ PANEL (MODUL) .....</b>	<b>16</b>
2.2.1 CHARAKTERISTIKA FV MODULŮ .....	18
2.2.2 V-A CHARAKTERISTIKA FV MODULU.....	19
<b>3 PODMÍNKY PRO KONSTRUKCI FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1 ENERGIE SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2 NASTAVENÍ SKLONU A ORIENTACE FV MODULŮ .....</b>	<b>22</b>
3.2.1 ORIENTACE .....	22
3.2.2 SKLON FV MODULŮ .....	23
<b>3.3 UCHYCENÍ MODULŮ .....</b>	<b>24</b>
3.3.1 VOLNĚ STOJÍCÍ .....	24
3.3.2 INTEGROVÁNY BUDOVĚ .....	24
<b>3.4 VÝPOČET MAXIMÁLNÍ INSTALOVANÉHO VÝKONU .....</b>	<b>25</b>
<b>3.5 PŘIPOJENÍ FV MODULŮ .....</b>	<b>28</b>
3.5.1 PŘIPOJENÍ AKUMULÁTORU .....	28
3.5.1 PŘIPOJENÍ MĚNIČE K REGULÁTORU .....	28
3.5.2 PŘIPOJENÍ SPOTŘEBIČŮ K REGULÁTORU .....	28
<b>3.6 VÝPOČET PARAMETRŮ FV MODULŮ VZHLEDEM K TEPLOTĚ .....</b>	<b>29</b>
3.6.1 STANOVENÍ MAXIMÁLNÍHO NAPĚTÍ NAPRÁZDNO .....	29
3.6.2 STANOVENÍ MINIMÁLNÍHO NAPĚTÍ MPP .....	29
3.6.3 VÝPOČET MAXIMÁLNÍHO ZKRATOVÉHO PROUDU .....	30
<b>3.7 STRING .....</b>	<b>30</b>
3.7.1 MAXIMÁLNÍ POČET MODULŮ NA STRING .....	30
3.7.2 MINIMÁLNÍ POČET MODULŮ NA STRING .....	30
3.7.3 OPTIMÁLNÍ POČET MODULŮ NA STRING .....	31
3.7.4 POČET STRINGŮ .....	31
<b>3.8 DIMENZOVÁNÍ VODIČŮ (KABELŮ) VE FV SYSTÉMU.....</b>	<b>32</b>
<b>3.9 ZTRÁTY VE FV SYSTÉMU.....</b>	<b>33</b>
<b>3.10 JIŠTĚNÍ FV SYSTÉMU .....</b>	<b>34</b>
3.10.1 PODMÍNKY PRO NÁVRH JISTÍČÍCH PRVKŮ DC STRANY .....	35
<b>3.11 VÝPOČET PROGRAMEM PVGIS (PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM).36</b>	
3.11.1 ODHAD FV(ON-GRID SYSTÉM) .....	36
3.11.2 MĚSÍČNÍ OZÁŘENÍ.....	36



---

3.11.3 FV ODHAD (OFF-GRID SYSTÉM).....	36
<b>4 ON, OFF - GRID SYSTÉMY .....</b>	<b>38</b>
<b>4.1 ON-GRID SYSTÉM .....</b>	<b>38</b>
4.1.1 SPOTŘEBITELSKÝ SYSTÉM .....	38
4.1.2 DISTRIBUČNÍ SYSTÉM .....	38
<b>4.2 SYSTÉMY SPOJENÉ S ROZVODNOU SÍTÍ.....</b>	<b>39</b>
4.2.1 SYSTÉMY MALÉHO VÝKONU (10 kWp).....	39
4.2.2 SYSTÉMY STŘEDNÍHO VÝKONU (200kWp).....	39
4.2.3 SYSTÉMY VELKÝCH VÝKONŮ (NAD 200kWp).....	40
<b>4.3 OFF-GRID SYSTÉMY (AUTONOMNÍ SYSTÉMY).....</b>	<b>41</b>
<b>4.4 HYBRIDNÍ SYSTÉMY .....</b>	<b>42</b>
<b>5 NÁVRH FVE .....</b>	<b>43</b>
5.1 ORIENTACE BUDOVY A FV PANELŮ .....	43
5.2 DOPADAJÍCÍ SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ V DANÉ LOKALITĚ .....	44
5.3 SPOTŘEBA .....	45
5.4 KOMPONENTY FV SYSTÉMU .....	45
5.5 VÝPOČET PARAMETRŮ FV SYSTÉMU.....	46
5.6 HYBRIDNÍ MĚNIČ (NASTAVENÍ) .....	50
5.7 LEGISLATIVA.....	50
5.8 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NÁVRHU .....	51
5.8.1 ROZPOČET A CENY JEDNOTLIVÝCH KOMPONENT SYSTÉMU .....	51
5.8.2 NPV, ZHODNOCENÍ NÁVRATNOSTI INVESTICE .....	52
<b>6 ZÁVĚR.....</b>	<b>54</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>55</b>
<b>PŘÍLOHA A TECHNICKÁ SPECIFIKACE POUŽITÝCH FV MODULŮ .....</b>	<b>57</b>
<b>PŘÍLOHA B HYBRIDNÍ MĚNIČ INFISOLAR .....</b>	<b>59</b>
<b>PŘÍLOHA C BATERIOVÝ ČLÁNEK .....</b>	<b>60</b>
<b>PŘÍLOHA D SITUAČNÍ NÁKRES BUDOVY .....</b>	<b>61</b>
<b>PŘÍLOHA E ZDROJOVÝ KÓD PROGRAMU V MATHEMATICÉ.....</b>	<b>62</b>

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 2-1 Fotovoltaický článek [1]</i> .....	15
<i>Obr. 2-2 Princip funkce fotovoltaického článku [1]</i> .....	16
<i>Obr. 2-3 Zapojení FV článku [1]</i> .....	17
<i>Obr. 2-4 Průřez FV modulem [1]</i> .....	17
<i>Obr. 2-5 Vliv intenzity slunečního [6]</i> .....	19
<i>Obr. 2-6 Vliv teploty na FV modul [6]</i> .....	20
<i>Obr. 3-1 Intenzita slunečního záření ČR [7]</i> .....	21
<i>Obr. 3-2 Podíl složek slunečního záření na výkonu za rok [8]</i> .....	22
<i>Obr. 3-3 Denní výkon FV modulů vzhledem k orientaci [9]</i> .....	23
<i>Obr. 3-4 Intenzita dopadajícího slunečního záření na modul vzhledem ke sklonu [9]</i> .....	23
<i>Obr. 3-5 Uchycení na trojúhelníkové konstrukci [10]</i> .....	24
<i>Obr. 3-6 Uchycení na střeše domu [10]</i> .....	25
<i>Obr. 3-7 Rozestup mezi další řadou panelů [2]</i> .....	27
<i>Obr. 3-8 Příklad jištění FV systému [14]</i> .....	34
<i>Obr. 3-9 Jištění FV pole [14]</i> .....	34
<i>Obr. 3-10 Náhled programu PVGIS [16]</i> .....	37
<i>Obr. 4-1 Spotřebitelský systém [17]</i> .....	38
<i>Obr. 4-2 Distribuční systém [17]</i> .....	39
<i>Obr. 4-3 Systém malého výkonu [18]</i> .....	39
<i>Obr. 4-4 Systém středního výkonu [18]</i> .....	40
<i>Obr. 4-5 Fotovoltaický park ve Španělsku [19]</i> .....	40
<i>Obr. 4-6 DC/DC systém s akumulací [18]</i> .....	41
<i>Obr. 4-7 DC/AC systém s akumulací [18]</i> .....	41
<i>Obr. 4-8 Hybridní FV systém [20]</i> .....	42
<i>Obr. 5-1 Orientace budovy</i> .....	43
<i>Obr. 5-2 Grafické vyjádření intenzity dopadajícího slunečního záření</i> .....	44
<i>Obr. 5-3 Komponenty navrženého systému [21]</i> .....	45
<i>Obr. 5-4 Výpočet plochy</i> .....	46
<i>Obr. 5-5 Výpočet minimální vzdálenosti</i> .....	46
<i>Obr. 5-6 Výpočet ztrát na DC kabelech</i> .....	49
<i>Obr. 5-7 NPV</i> .....	53

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 2-1 Tabulka účinnosti materiálů solárních článků [3]</i> .....	18
<i>Tab. 2-2 Tabulka STC [4]</i> .....	18
<i>Tab. 2-3 Technická data od výrobce panelů [5]</i> .....	19
<i>Tab. 5-1 Celkový dopad intenzity slunečního záření v dané lokalitě</i> .....	44
<i>Tab. 5-2 Rozpočet nákladů</i> .....	51
<i>Tab. 5-3 NPV</i> .....	52

## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

### Zkratky a symboly

FV	Fotovoltaický/á
FVE	Fotovoltaická elektrárna
eV	Elektronvolt
STC	Standartní testovací podmínky
AM	Air Mass
NOCT	Normální podmínky testování
EVA	Ethyl-Vinyl-Acetát
MPP	Bod maximálního výkonu
MPPT	Sledovač bodu maximálního výkonu
DC	Stejnoseměrný proud
AC	Střídavý proud
PVGIS	Fotovoltaický, Geografický informační systém
CdTe	Cadmium Telluride
CIGS	Copper Indium Galium Selenid
NPV	Čistá současná hodnota

**Veličiny a jednotky**

$U_{mpp}$	Napětí bodu maximálního výkonu	[V]
$I_{mpp}$	Proud bodu maximálního výkonu	[A]
$\eta$	Účinnost	[%]
$P_{max}$	Maximální výkon FV panelu	[Wp]
$U_{DCmaxMOD}$	Maximální napětí modulu	[V]
$U_{oc}$	Napětí naprázdno	[V]
$I_{sc}$	Maximální zkratový proud	[A]
$\Delta U$	Úbytek napětí na vedení	[V]
$S_{min}$	Minimální průřez vodiče	[mm <sup>2</sup> ]
$R_k$	Odpor vodiče	[ $\Omega$ ]
$P_{ztr}$	Ztrátový výkon	[W]
$\Delta T$	Rozdíl teplot	[K]
$\Delta T_{mod\%}$	Koeficient změny teploty modulu	[%/K]
$I_n$	Jmenovitý proud	[A]
$U_n$	Jmenovité napětí	[V]
$E_{vd}$	Průměrná vyrobená elektrická energie za den	[Wh]
$E_{vm}$	Průměrná vyrobená elektrická energie za měsíc	[Wh]
$E_{pm}$	Potřebná elektrická energie za měsíc	[Wh]
$E_{missd}$	Chybějící elektrická energie za měsíc	[Wh]
$E_{batd}$	Elektrická energie v baterii za den	[Wh]
$E_{vtd}$	Spotřebovaná elektrická energie ve vysokém tarifu za den	[Wh]
$E_{ntd}$	Spotřebovaná elektrická energie v nízkém tarifu za den	[Wh]
$E_{vtm}$	Spotřebovaná elektrická energie ve vysokém tarifu za měsíc	[Wh]
$E_{ntm}$	Spotřebovaná elektrická energie v nízkém tarifu za měsíc	[Wh]
$E_{bat\%den}$	Procentuální využití baterie	[Wh]
$Batcyklym$	Počet bateriových cyklů za měsíc	[-]

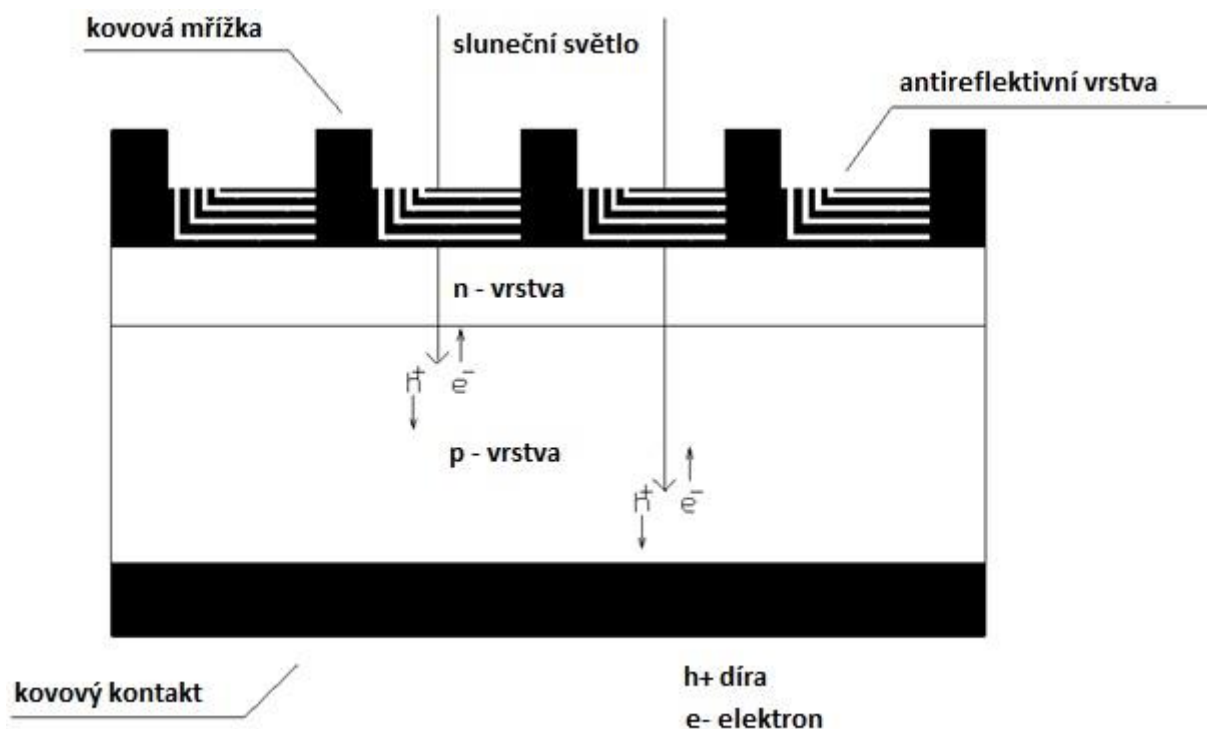
# 1 ÚVOD

Energetické nároky v dnešní době se neustále zvyšují. Elektrická energie se pomalu stává jednou z nejdůležitějších forem energie. To znamená, že jsou kladeny stále vyšší nároky na její výrobu. Výroba elektrické energie z fosilních paliv je ve velkém množství rozšířena, ale ve své podstatě je vysoce dlouhodobě nepřijatelná. Fosilní paliva, která se v zemské kůře vytvářela a vznikala po miliardy let, jsme její značné procento schopni spotřebovat v řádech stovek let. To znamená, že se musí lidstvo přiklonit a vyhledat způsoby, kterými nebudeme okrádat sami sebe. Jaderná energie, jejíž účinnost a množství vyrobené energie je mnohem lepší, než u elektráren na fosilní paliva je zase z ekonomického hlediska a hlavně z hlediska dnešního ekonomického systému velice ekonomicky nevýhodný zdroj výroby elektrické energie. Při regulování jaderné elektrárny, které je velmi pomalé, proto musíme většinou mít další řešení, jak vyrobenou přebytečnou energii využít co nejefektivněji. Proto je potřeba další přečerpávací elektrárny, která přebytečnou elektrickou energii využije pro přečerpání vody z dolní nádrže zpět do nádrže horní. V tomto režimu majitel elektráren ztrácí veškeré finance spojené s touto přebytečnou energií. Proto je toto řešení velice ekonomicky nevýhodné. Jako další možnost je výroba elektrické energie pomocí termojaderné fúze, která funguje na opačném principu jako klasická jaderná elektrárna. Toto řešení výroby je zatím velice nákladné a na zemi zatím pouze v testovací fázi. Na tomto principu funguje naše slunce. Výroba energie pomocí obnovitelných zdrojů je nejlepším řešením, jak vyrobit čistou energii, pomocí přírodních jevů. Odstraní se všeho všudy přítomné emise, které vzhledem se vzrůstajícím spalováním různých paliv dosáhlo vysoké úrovně v poškozování životního prostředí, ke zvětšující se díře v ozónové vrstvě aj. Tyto emise samozřejmě nejsou jen způsobeny výrobou elektrické energie, ale mají původ v mnoha věcech, především přeměny energie spalováním, kdy se uvolňuje velké množství prvků ve formě plynu, které mají negativní vliv na kvalitu životního prostředí. Značnou část na toto má také automobilový průmysl, který se velice rozšířil a proto je nutné investovat do vývoje elektromobilů, které na životní prostředí působí mnohem lépe. S touto myšlenkou je také třeba vzít v potaz výroby elektrické energie jakožto co nejméně emisní výrobu. Získávání energie ze slunce je pro lidstvo velmi zásadní, především v tom, že to není energie, kterou bychom brali sami sobě, ale vzniká mimo naši planetu zemi a pokud se zefektivní její získávání, můžeme elektrickou energii vyrábět čistě a proto je výroba elektrické energie formou získávání ze slunečního záření jednou z lepších možností. Dnešní elektrický systém je postaven na principu jedné výroby, která napájí další stovky objektů a je na ni založena velká část ekonomického systému. Pokud by se energie nemusela přenášet a byla by se schopna vyrobit v místě spotřeby daného elementu, tak bychom ušetřili nejen životní prostředí, ale také krajinu stavěním různých sloupů vysokých napětí apod. Jako dobrou formou, jak se k tomuto alespoň z části přiblížit je fotovoltaická elektrárna, která by napájela jen daný objekt, ke kterému byla postavena. V kombinaci s bateriemi, do jejichž vývoje se dnes investují velké peníze, by mohla být jako řešení pro situaci se životním prostředím a energetickými problémy dnešní doby.

## 2 PRINCIP FUNKCE FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU A MODULU

### 2.1 Fotovoltaický článek

Polovodičové solární články jsou jednoduchými zařízeními, které mají kapacitu k absorbování světla a dodání množství energie z absorbovaných fotonů nosičům náboje elektrického proudu což jsou elektrony a díry. Solární článek je jednoduše polovodičová dioda, která byla navržena, aby co nejefektivněji a nejlépe absorbovala a převáděla světelnou energii ze slunce na energii elektrickou. Slunce dopadá shora na přední stranu solárního článku. Kovová mřížka tvoří jeden z elektrických kontaktů diody a umožňuje světlu dopadat na polovodič mezi linkami mřížky, kde je převedeno a zároveň přeměněno v elektrickou energii. Anti-reflektivní vrstva mezi linkami mřížky zvětšuje množství světla, které je přenášeno do polovodiče. Polovodičová dioda je vyráběna tak, aby polovodiče typu N a polovodiče typu P byly sjednoceny a vytvořily tak kovové spojení. Tohoto požadavku je dosaženo pomocí difúze, implantování specifických nečistot nebo postupným nanášením. Další kontakt diody je vytvořen pomocí kovové vrstvy na zadní straně solárního článku [1].

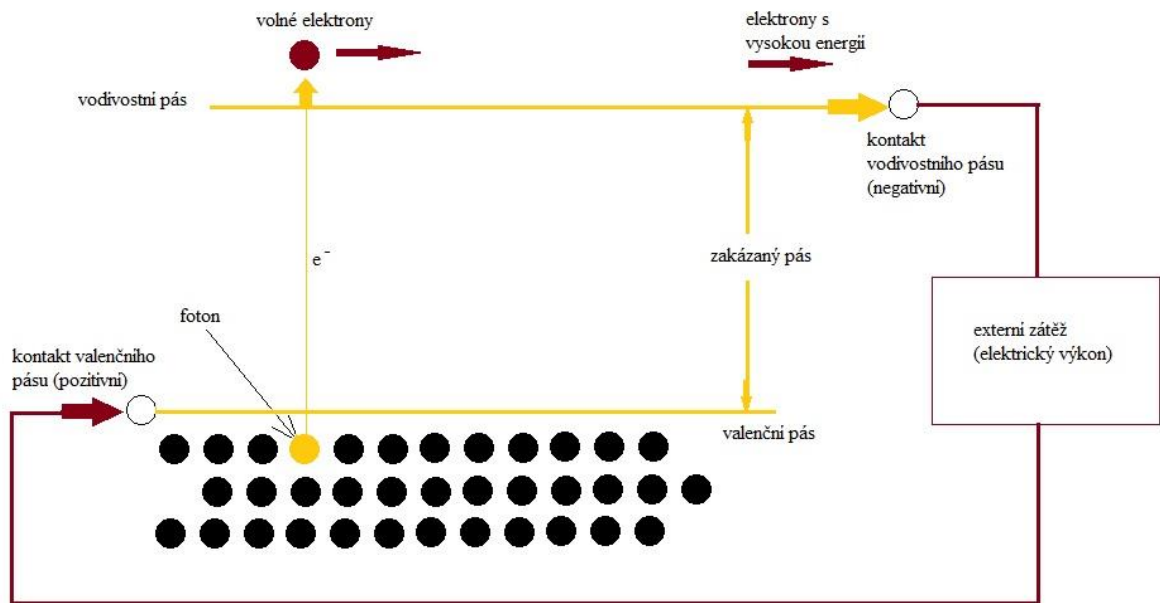


Obr. 2-1 Fotovoltaický článek [1]

#### 2.1.1 Princip funkce

Polovodiče mají slabě vázané elektrony, které jsou obsaženy v energeticky nejvýše položené tzv. valenční vrstvě. Při dodání energie elektronu vyšší, než je prahová hodnota energie pro udržení elektronu v zakázaném pásmu dojde k prolomení pásmu a elektron může volně přejít do vodivostního pásmu a může tak vést elektrinu skrze materiál. Energie potřebná k uvolnění elektronu ze zakázaného pásmu může být dodána dopadajícími fotony (částicemi světla). Když je solární článek vystaven slunečnímu světlu, fotony narazí do valenčních elektronů, předají jim svoji energii a dojde k

prolomení pásu a pumpování elektronů do vodivostního pásu. Tady je speciálně vyrobený selektivní kontakt, který sbírá elektrony z vodivostního pásu a přenáší tyto elektrony do externího obvodu. Elektrony ztrácí jejich energii v externím obvodu při konání práce, jako může být pohánění čerpadla, otáčení ventilátoru, rozsvícení žárovky, nebo napájení počítače. Poté jsou vráceny zpět solárnímu článku zpětnou smyčkou obvodu přes sekundární selektivní kontakt, který je vrací zpět do valenčního pásu se stejnou energií, s jakou začaly. Pohyb těchto elektronů v externím obvodu nazýváme elektrickým proudem. V materiálu, který má zakázaný pás o hodnotě 1 eV a elektrony jsou narušeny fotony o hodnotě 2 eV nebo 3 eV, budou oba stejně mít potenciál o trochu menší, než je 1 eV, tj. elektrony jsou dodány s energií 1 eV. Elektrický výkon je napětí vynásobené proudem, nebo také počet volných elektronů vynásobený jejich potenciálem [1].



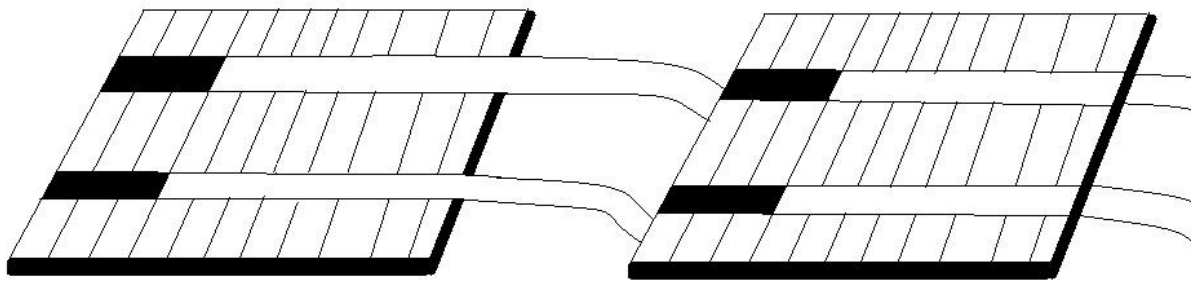
Obr. 2-2 Princip funkce fotovoltaického článku [1]

Sluneční světlo je spektrem fotonů dodávaných v celém rozsahu energií. Fotony, které mají větší energii, než je energie zakázaného pásu, mohou nabudit elektrony tak, aby dokázaly překonat zakázaný pás a dostaly se do vodivostního pásu, kde by mohly opustit zařízení a generovat elektrický výkon do výstupního obvodu. Fotony, které mají energii menší, než je energie zakázaného pásu, tak elektrony nejsou schopny nabudit k jeho překonání a tato energie putuje skrze solární článek a je absorbována jako teplo. Solární články při přímém osvětlení mohou být někde kolem (20 – 30) °C teplejší, než je teplota okolního vzduchu. FV články mohou produkovat elektrickou energii, aniž by musely být v teplem prostředí, nebo musely mít pohyblivé části [1].

## 2.2 Fotovoltaický panel (modul)

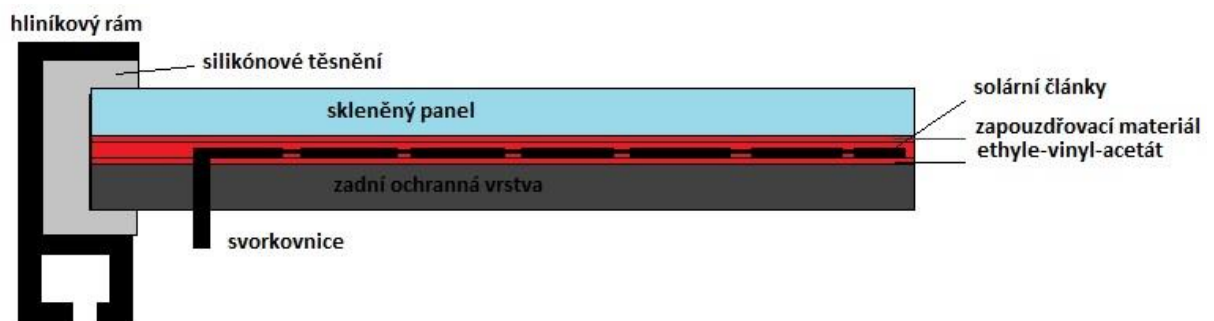
Jelikož je výkon jednoho solárního článku velmi malý, tak abychom vyprodukovali větší výkony, musíme tyto solární články poskládat tak, aby vytvořili lepší výkony. Tyto články se v modulech převážně zapojují do série tak, že pocínované měděné pásky jsou připájeny k přípojnícím v předu. Výstupky se musí překrývat na dlouhé vzdálenosti, protože vodivost jedné tištěné přípojnice je velmi malá. Vodivá epoxidová lepidla můžou nahradit konvenční pájecí slitiny [1].





Obr. 2-3 Zapojení FV článku [1]

Běžné konfigurace modulů používají 36 v sérii zapojených článků, které při normálních provozních podmínkách produkují kolem 15V maximální napětí vhodné pro nabíjení 12V baterií. Pro venkovní použití s dobou životností kolem dvaceti let a více musíme solární články uzavřít mezi ochranné vrstvy tak, aby nebyly poškozeny, nebo ovlivněny a znečištěny při venkovních použití. Proto se fotovoltaický modul skládá z určitých vrstev a navrch je zakryta sodnovápenatým sklem, které je 2 – 3 mm tenké. Toto sklo obstarává mechanickou tuhost a ochranu modulu, když jim prochází světlo. Sklo musí mít také nízký podíl kovů, jinak bude nízký přenos světla. V moderních modulech jsou použita skla, která využívají prvek cerium, který je schopen absorbovat UV záření a tím zvýšit spolehlivost modulu. Tvrzené sklo musí být použito, aby se zabránilo jakýmkoliv nárazům, které by mohly modul poškodit. Matice vytvořená solárními články je umístěna mezi dvě vrstvy zapouzdřovací, nebo zalévací látky. Tato látka je nejčastěji z termoplastu (ethylen-vinyl-acetát) o tloušťce 0,5mm. Poslední vrstva je z plastového kompozitu jako ochrana před znečištěním. Některé společnosti používají další sklo, aby zvýšili ochranu [1].



Obr. 2-4 Průřez FV modulem [1]

V současné době jsou nejpoužívanější tři typy materiálů solárních panelů – monokrystalické, polykrystalické a amorfni. Panely z monokrystalického křemíku jsou optimální pro střechu orientovanou přímo na jih. V našich podmínkách využijeme lépe polykrystalické panely, které nekladou až takový požadavek na orientaci jako panely monokrystalické. Panely třetího typu jsou z Amorfniho křemíku, tento typ není tak citlivý na orientaci a sklon jako předchozí typy, ale jejich účinnost je nižší [2].

Tab. 2-1 Tabulka účinnosti materiálů solárních článků [3]

Typ solárního článku	Typická efektivita článku za běžných podmínek	Maximální naměřená účinnost článku za běžných podmínek	Maximální naměřená hodnota článku v laboratoři
	(%)	(%)	(%)
<b>Monokrystalický křemík</b>	12 - 16	22	25
<b>Multikrystalický křemík</b>	11 - 14	16	20
<b>Amorfni křemík</b>	5-7	10	13
<b>Telurid kademnatý</b>	10	12	16

## 2.2.1 Charakteristika FV modulů

### 2.2.1.1 Standartní testovací podmínky (STC)

Standartní testovací podmínky (STC) jsou referenční hodnoty pro FV modul a definují standartní testovací podmínky pro ozáření, teplotu a spektrum AM.

Tab. 2-2 Tabulka STC [4]

Referenční prvek	Referenční hodnota
Ozáření	1000 W/m <sup>2</sup>
Teplota	25°C
Spektrum AM	1,5

Referenční hodnoty stanoveny v této tabulce pro FV modul jsou používány výrobci FV modulů, kteří stanovují jmenovité hodnoty FV modulu právě při těchto podmínkách STC. Hodnota ozáření a hodnota teploty mají velký vliv na parametry panelu, takže při návrhu se nemůže počítat s hodnotami při STC, ale při reálných podmínkách v daném místě, kde se navrhuje FV systém [4].

### 2.2.1.2 Technická data výrobce panelů

Elektrické charakteristiky FV modulů jsou závislé na teplotě. V tabulce (2-3) jsou uvedeny a popsány typické hodnoty, které specifikují daný panel, daného výrobce. Tyto hodnoty jsou uvedeny v technické specifikaci, nebo na štítku FV modulu [5].

Tab. 2-3 Technická data od výrobce panelů [5]

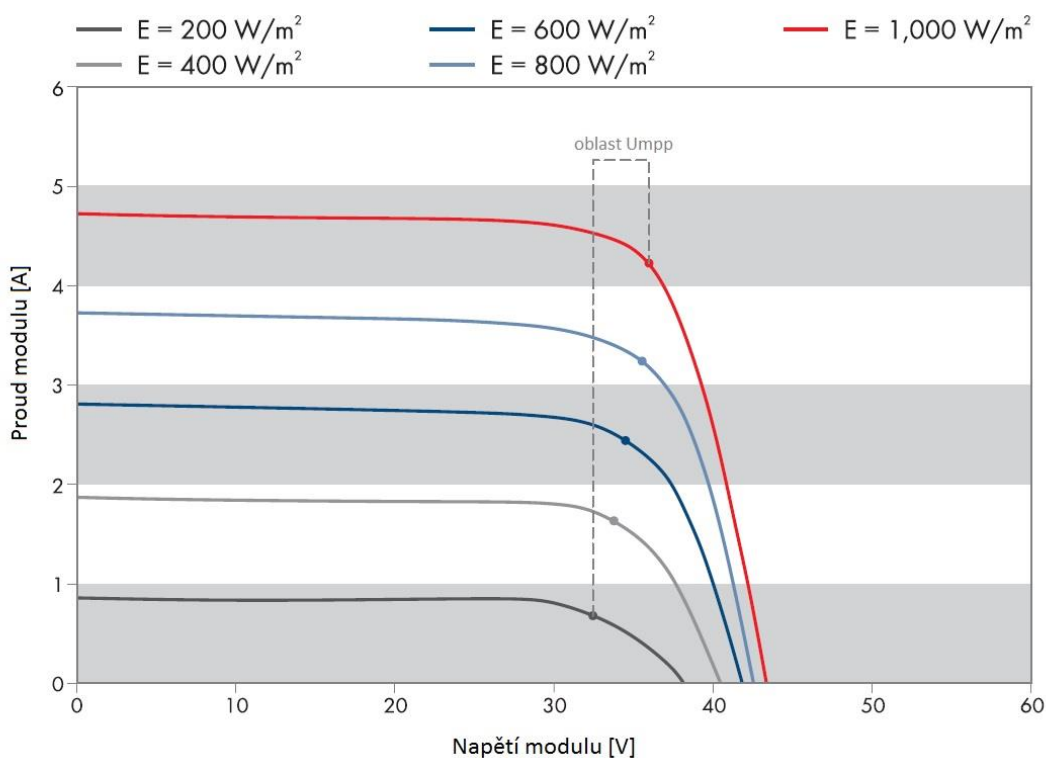
Symbol, název	Jednotka	Popis
$\eta$	%	Účinnost panelu
$I_{mpp}$	A	Proud při maximálním výkonu
$U_{mpp}$	V	Napětí při maximálním výkonu
$P_{max}$	Wp	Maximální výkon
$U_{DCmaxMOD}$	V	Maximální napětí naprázdno modulu
$U_{DCmaxMODSYS}$	V	Maximální napětí naprázdno systému
$U_{oc}$	V	Napětí naprázdno
$I_{sc}$	A	Zkratový proud
Maximum fuse rating	A	Maximální jištění větve
$I_{rMOD}$	A	Zatížitelnost zpětným proudem
$U_{oc}(T_{min}/T_{max})$	%/K	Teplotní koeficient napětí naprázdno
$I_{sc}(T_{min}/T_{max})$	%/K	Teplotní koeficient proudu nakrátko

V tabulce jsou uvedeny a vysvětleny základní hodnoty, které by měly být na každém štítku, uvedeny jsou nejdůležitější hodnoty. Hodnoty jsou uváděny při STC, popř. NOCT [5].

## 2.2.2 V-A charakteristika FV modulu

### 2.2.2.1 Intenzita slunečního záření

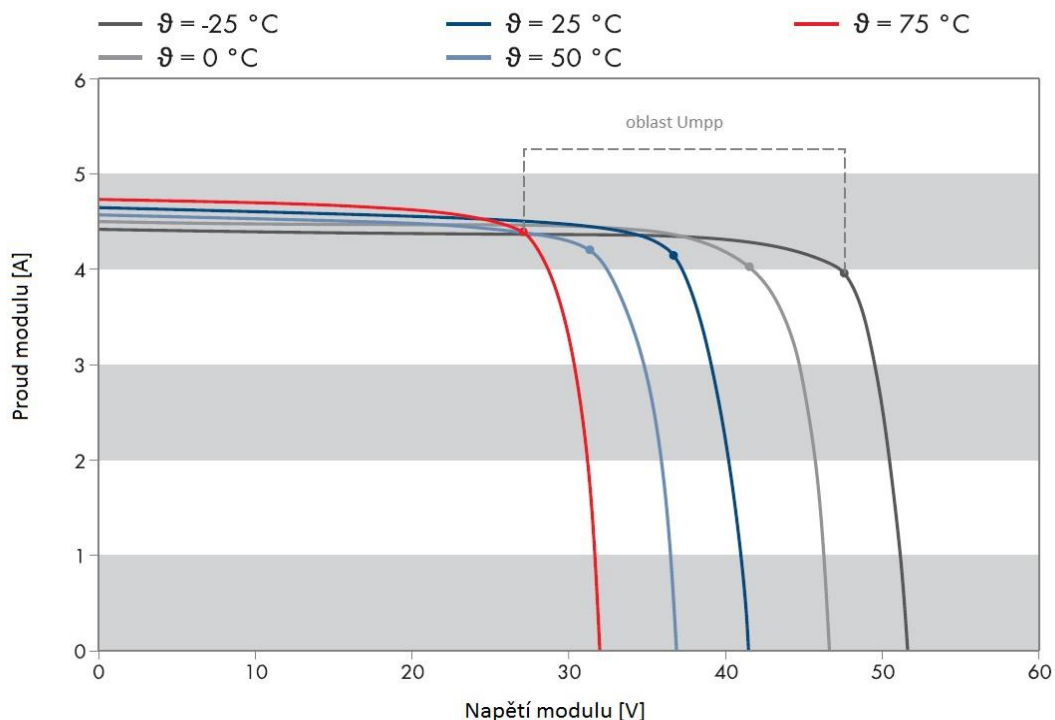
FV moduly velmi málo kdy, nebo nikdy nepracují při STC vzhledem k ovlivnění okolím. FV moduly většinou pracují v tzv. částečném zatížení. V tomto módu se hodnota intenzity záření a hodnota teploty mění během dne. Změna intenzity ozáření má největší vliv na proud modulu, jak je vidět na obrázku (2-5). Napětí zůstává téměř konstantní a je více závislé na teplotě [6].



Obr. 2-5 Vliv intenzity slunečního [6]

### 2.2.2.2 Změna teploty

Ve vztahu k teplotním změnám je funkce opačná vzhledem k intenzitě ozáření. Pokud teplota klesá, tak se napětí modulu zvyšuje a proud zůstává téměř konstantní, jak můžeme vidět na obrázku (2-6). Tento nárůst napětí musí být zahrnut v návrhu FV systému. Se zvyšující teplotou také klesá maximální výkon panelu a proto je zapotřebí brát ohled na chlazení panelu. Při špatném návrhu chlazení panelů může dojít ke ztrátám produkce [6].



Obr. 2-6 Vliv teploty na FV modul [6]

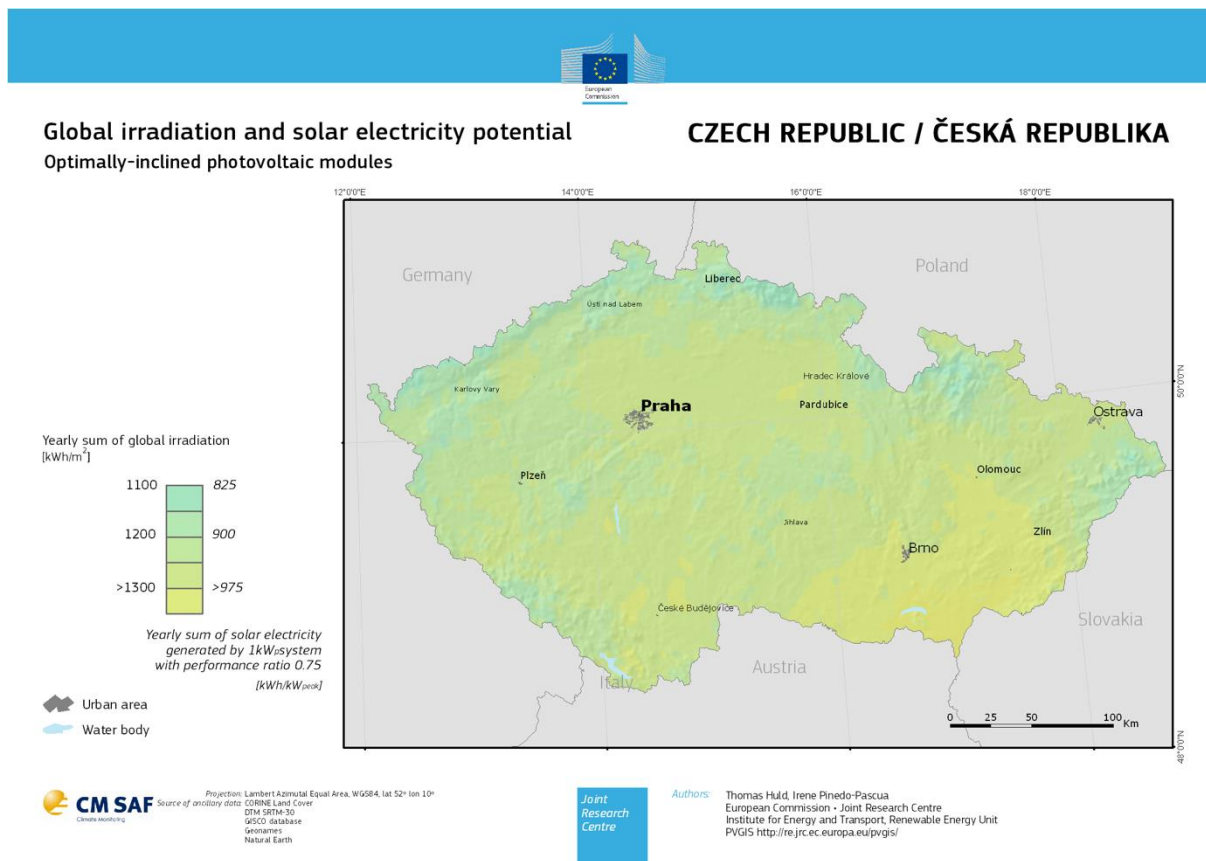
### 2.2.2.3 Bod maximálního výkonu

Bod maximálního výkonu je pracovní bod FV modulu, při kterém je dosaženo nejvyššího výkonu tzn. bod, při kterém produkce proudu a napětí je výsledkem maximálního výkonu. Tento bod není konstantní a z principu závisí na teplotě, která ovlivňuje napětí a také na intenzitě ozáření která má za výsledek limitující proud modulu. Limitující proto, že ozáření má limitní hodnoty pro dané území, kde vstupuje a to samé platí pro teplotu [6].

### 3 PODMÍNKY PRO KONSTRUKCI FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU

Výroba elektřiny přeměnou solární energie se začala vyvíjet v sedmdesátých letech dvacátého století, kdy lidstvo mělo možnost začít získávat podstatnou část elektrické energie bez spalování fosilních paliv, nebo vytváření jaderných štěpných reakcí. Fotovoltaika (dále FV) nám dokazuje, že je schopna vytvářet elektřinu v širokém rozsahu aplikací, klimatických podmínek, geografických lokací a také, že může dodat elektřinu lidem na venkově, kteří jsou na kilometry vzdáleni od nejbližší elektrické distribuční sítě. Může dodat elektrickou energii do vzdálené vysílací stanice, která je těžko dostupná. Napájí orbitální satelity obíhající zemi, nebo družice směřující k Marsu a dalším planetám sluneční soustavy. Dále jsou také použity u nízkovýkonových elektronických zařízení, jako například kalkulačka, různé led diody, světýlka, vypínače, přepínače aj. Jako pohled do budoucna by mohla FV být využita u rychle-dobíjecích stanic pro dodávku energie elektromobilům [1].

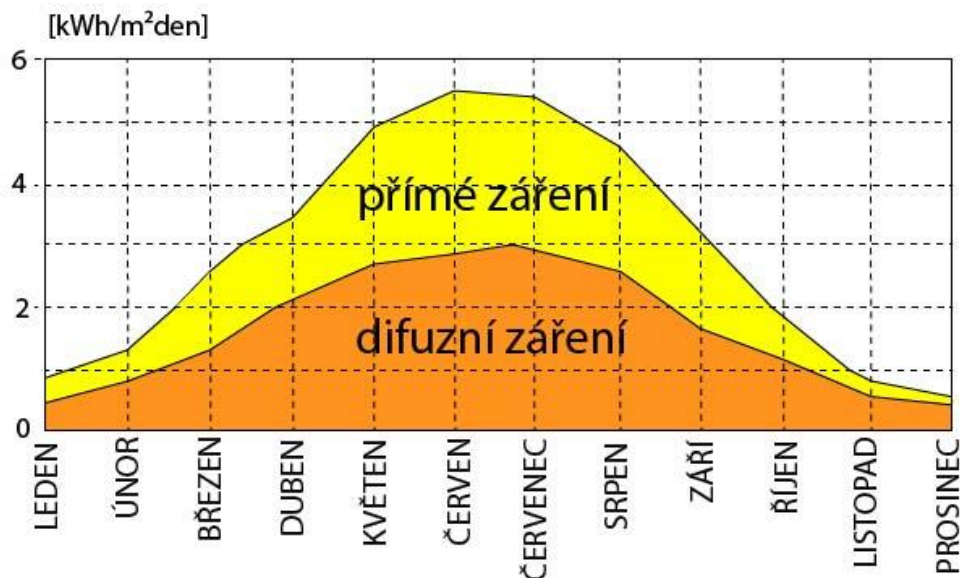
Umístění FVE systému je důležité, pokud chceme z FVE vytěžit největší možnou účinnost, musí se dbát na základní podmínky. Každé místo na zemi, má jinou hodnotu spektrálního ozáření. Globální hodnota, která je uvedena ve standardních testovacích podmínkách pro fotovoltaický modul je stanovena hodnota  $1000 \text{ W/m}^2$ . Hodnota intenzity slunečního záření je závislá na daném měsíci a ročním období a také samozřejmě na denní době. V letních obdobích může hodnota přesahovat tuto globální hodnotu např. na hodnotu  $1200 \text{ W/m}^2$ . V zimních obdobích je tato hodnota nižší, proto je výroba v zimních obdobích značně omezena. Průměrná hodnota ozáření pro ČR je uvedena v následujícím obrázku [7].



Obr. 3-1 Intenzita slunečního záření ČR [7]

### 3.1 Energie slunečního záření

Fotovoltaika je v zásadě limitována vstupem v podobě slunečního záření, které dopadá na jeho články. Jelikož je dopadající sluneční záření otázkou vícera faktorů, je nutné tyto faktory brát v potaz. Sluneční záření jako takové je základním zdrojem pro fotovoltaiku, takže jeho intenzita a doba ozáření na vstupu se odvíjí na výkonu na výstupu z panelu. Využití energie slunečního záření se odvíjí od složení dopadajícího záření, které se skládá ze záření přímého a záření difúzního což je záření, které je rozptýlené o znečišťující prvky v atmosféře při jeho dopadu. Přímého záření převážně využívají panely vyrobené z krystalického křemíku ať už polykrystalické, nebo monokrystalické moduly. Tento materiál je v současné době nejvíce využíván při výrobě FV modulů, proto také dosáhneme nejlepší výroby při bezmračné obloze, kdy dopadající záření je složeno z větší části právě ze záření přímého. Pro materiály z amorfního křemíku už tento požadavek není tak zásadní, jelikož tento materiál dokáže využívat i záření difúzní a proto může být ve výsledku užitečnější, ikdyž je jeho účinnost nižší, než u předchozích dvou materiálů viz tabulka (2-1) [8].

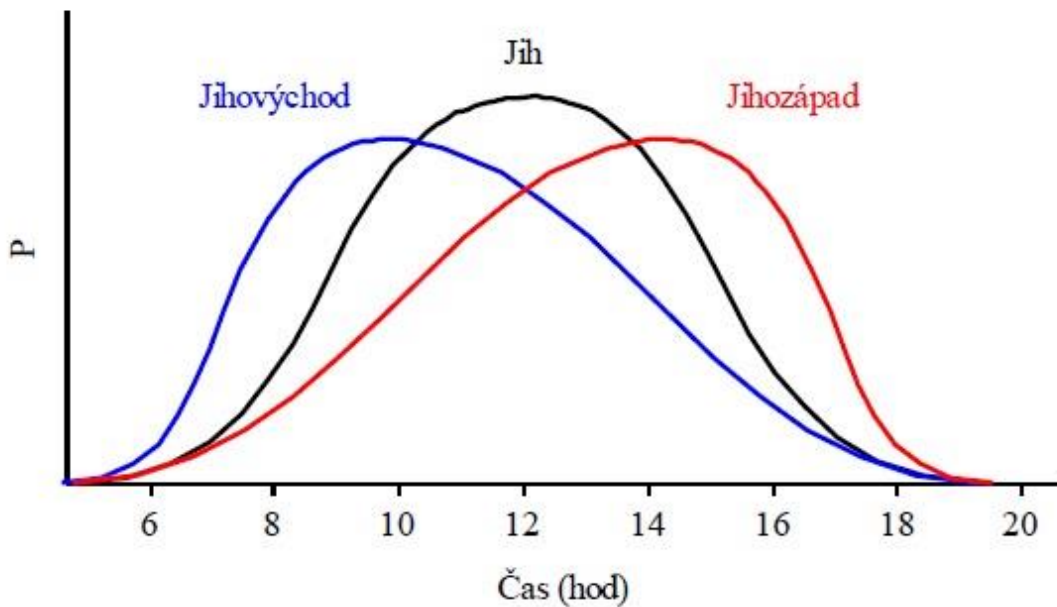


Obr. 3-2 Podíl složek slunečního záření na výkonu za rok [8]

## 3.2 Nastavení sklonu a orientace FV modulů

### 3.2.1 Orientace

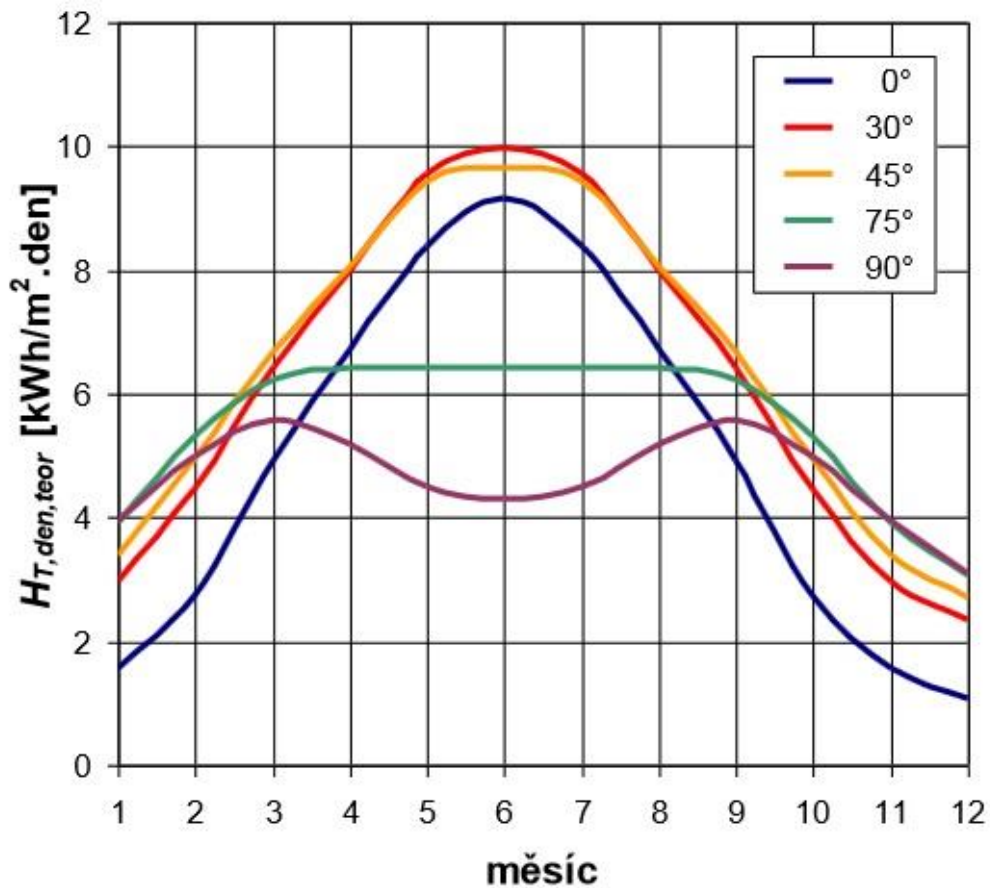
Orientování, nebo natočení FV modulů ve vertikální rovině se uvádí vzhledem k jihu což je výchozí hodnota, východ je ( $-90^\circ$ ) a západ ( $90^\circ$ ). Nejlepší efektivita se dosahuje při natočení panelů přímo na jih, pokud je tato možnost vzhledem ke způsobu instalace, pokud jsou FV panely instalovány na již daný objekt a není tedy možnost nastavit úhel natočení panelů (např. již postavené rodinné domy apod.). Tato odchylka se zahrnuje do výpočtu a musí se dbát na pokles výkonu, který nastane tím, že nejsou panely správně orientovány a tedy nedávají celý den stabilní výkon, tak jak by měly být. Toto neplatí pro systémy trackerů [9].



Obr. 3-3 Denní výkon FV modulů vzhledem k orientaci [9]

### 3.2.2 Sklon FV modulů

Pokud je možnost panely natočit v horizontální rovině, pro přibližně nejlepší určení úhlu se vychází z teoretického předpokladu uvedeného na obrázku (3-4), ze kterého je patrné, že největší hodnota ozáření je dosažena při natočení panelů ve vertikální ose mezi (30 – 45) [9].

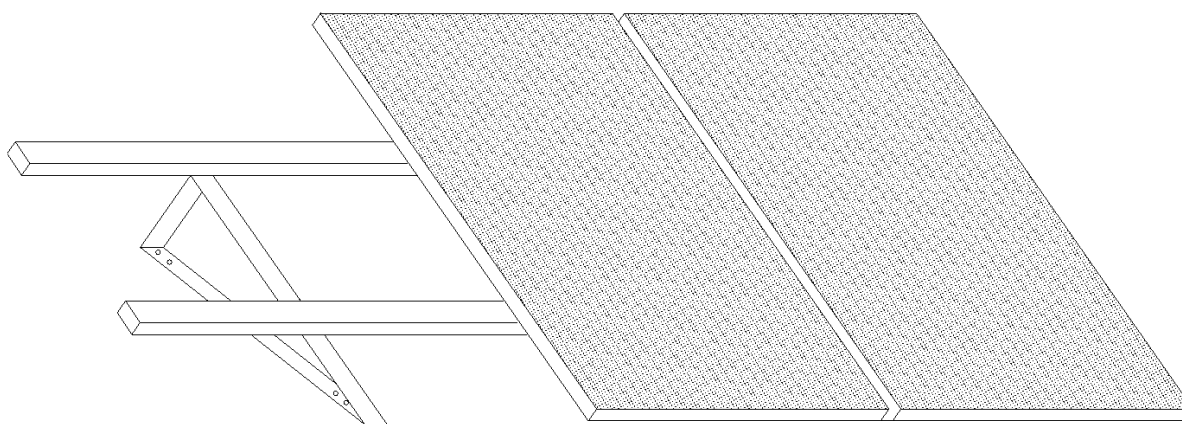


Obr. 3-4 Intenzita dopadajícího slunečního záření na modul vzhledem ke sklonu [9]

### 3.3 Uchycení modulů

#### 3.3.1 Volně stojící

Panely se montují jako volně stojící pevně uchycené, např. na ploché střechy nebo také na zem do betonových patek. Toto uchycení má výhodu v tom, že zadní strana panelů je chlazena proudícím okolním vzduchem a proto mají tyto systémy také lepší relativní účinnost. Dále je možnost si zvolit systém, který se bude automaticky natačovat za sluncem tzv. trackery, to znamená, že nastaví úhel natočení za danou dobu (den) ve vertikální i horizontální ose, a je tak zaručena maximální efektivita. Tento systém uchycení je ekonomicky dražší. Při tomto způsobu instalace je třeba dbát na zastínění jedné řady panelů řadou předchozí, to znamená, že se rozmístění volí pokud možno tak aby nedocházelo k vzájemnému zastíňování. Výpočet rozestupu jednotlivých panelů viz kapitola (2.4). Jako příklad přichycení je např. sada pro uchycení FV panelů pod úhlem, složená z osmi L-profilů jako dva trojúhelníky. Úhel trojúhelníku záleží na výrobci a tyto sady jsou vhodné pro ploché či mírně skloněné střechy [10].

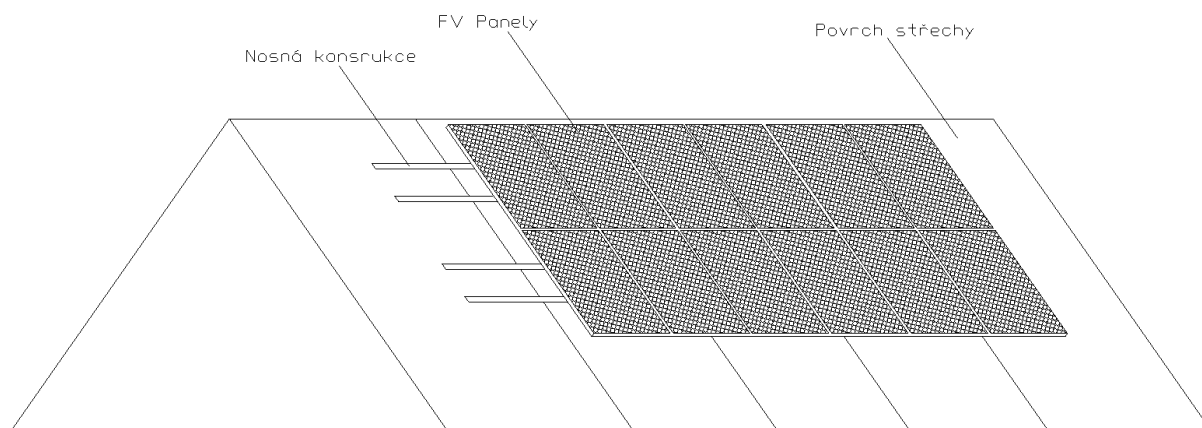


Obr. 3-5 Uchycení na trojúhelníkové konstrukci [10]

#### 3.3.2 Integrované budově

Panely integrované na střeše existující budovy mají jako zásadní nevýhodu slabé chlazení zadní strany panelu, pokud leží přímo na nosné konstrukci. Pokud se zvolí konstrukce s větším odstupem od povrchu střechy, dochází k lepšímu chlazení při proudění vzduchu a tím ochlazování zadní strany panelu. Vzdálenost od střechy k zadní straně panelu se řídí požadavky nosných konstrukcí. Rozestupy mezi jednotlivými FV panely bývají obvykle mezi 50 - 100 mm. Tyto rozestupy jsou dány způsobem uchycení na nosné konstrukce, kdy je panel uchycen svorkou na rám FV panelu. Při instalacích na již existující střechy vznikají značná omezení při možnosti natočení FV panelů. Manipulace s panely co se týče nastavování, co nejlepšího úhlu je omezena již existující střechou. Nosné konstrukce a uchycující držáky se vyrábí z nerezové oceli nebo hliníku. Pro instalace na střešní tašky s dřevěnými krovky se používá k uchycení panelů systém kotvicích háků, které se přichytí do krovů pomocí šroubů. Na háky se umístí hliníkové profily, na které se FV panely připevní. Na střechy s jiným povrchem se využívá stejný princip s tím, že se hliníkové profily přišroubují do krovů pomocí šroubů [10].





Obr. 3-6 Uchycení na střeše domu [10]

### 3.4 Výpočet maximální instalovaného výkonu

Pokud je předem známá plocha, na kterou se budou FV panely instalovat, tak pro výpočet maximálního instalovaného výkonu FV vyjdeme z rozměrů plochy střechy a rozměrů jednotlivého panelu + jejich rozstup vzhledem k instalačnímu příslušenství. Pokud se instaluje FV systém jako integrován na střeše budovy, na které budou položeny FV panely, maximální výkon vypočteme z použitelné plochy pro FV panely a plochy jednoho panelu. Od výrobce FV panelů jsou udávány rozměry jednotlivých panelů a výrobce také stanovuje maximální špičkovou hodnotu výkonu panelu daných rozměrů a orientace panelů, na šířku, nebo na výšku. FV panely mají v řadách mezi sebou mezeru 50 – 100 mm, tuto korekci je třeba zahrnout do výpočtu [11].

- Výpočet plochy jednoho panelu (obdélníkový tvar):

$$S_p = a_p \cdot b_p \text{ [m}^2; \text{m, m]} \quad (3.4.1)$$

$a_p$  – Rozměr strany  $a$  FV panelu

$b_p$  – Rozměr strany  $b$  FV panelu

- Výpočet plochy střechy (obdélníkový tvar):

$$S_s = a_s \cdot b_s \text{ [m}^2; \text{m, m]} \quad (3.4.2)$$

$a_s$  – Rozměr strany  $a$  FV panelu

$b_s$  – Rozměr strany  $b$  FV panelu

- Výpočet počtu panelů (obdélníkový tvar):

$$n_p = \frac{S_s}{S_p} \text{ [-; m}^2, \text{m}^2] \quad (3.4.3)$$

- Zaokrouhlujeme dolů na celé číslo

- Výpočet maximálního instalovaného výkonu FV systému (obdélníkový tvar):

$$P_{max} = n_p \cdot P_p [Wp; -, Wp] \quad (3.4.4)$$

$P_p$  – Výkon jednoho panelu stanovený výrobcem

Pro výpočet je zvolen obdélníkový tvar, pokud se panely instalují na plochy jiného tvaru a není důvod z hlediska estetiky např. dodržet tvar střechy, je možné celkovou plochu rozdělit na jednotlivé plochy a v každé z těch daných ploch vypočítat počet panelů, který je maximálně možné na ní instalovat.

- Výpočet počtu panelů:

$$n_{pn} = \frac{S_{sn}}{S_p} [-; m^2, m^2] \quad (3.4.5)$$

- kdy  $n = [1, 2, 3 \dots k]$
- $k$  – číslo jednotlivé plochy
- zaokrouhlujeme dolů na celé číslo

- Výpočet maximálního instalovaného výkonu FV systému:

$$P_{max} = \sum_{n=1}^k n_{pn_p} \cdot P_p [Wp; -, Wp] \quad (3.4.6)$$

$P_p$  – Výkon jednoho panelu stanovený výrobcem

Tyto výpočty budou platit i obráceným způsobem. Požadavek je FV elektrárna daného výkonu a vypočítat jakou plochu zabere.

Místo pro instalaci FV panelů musí být snadno dostupné pro případnou výměnu, nebo opravy, např. při mechanickém, nebo jiném poškození panelu.

- Další z variant výpočtu potřebné oblasti je:

Nominální (teoretická) hodnota ozáření  $G_{teor} = 1000 [W/m^2]$

$$S_{teor} = \frac{P_{peak}}{\eta_{nom} \cdot G_{teor}} [m^2; W, -, W/m^2] \quad (3.4.7)$$

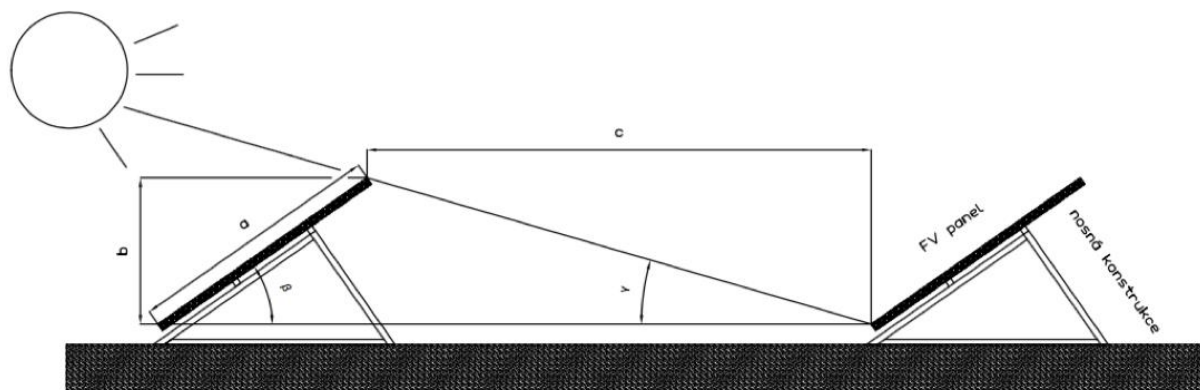
Kde:

$P_{peak}$  – Maximální špičková hodnota daného modulu, nebo systému při STC

$\eta_{nom}$  – Nominální účinnost FV modulu při STC

$G_{teor}$  – Teoretická hodnota globálního ozáření

Pokud se FV panely instalují na nosné konstrukce např. na rovné střechy, je zapotřebí dbát na rozmístění konstrukcí tak, aby byla zaručena, co největší efektivita tzn panely se instalují s rozestupy zadní strany panelů a střechy. Tento rozstup zajistí větší proudění větším množstvím vzduchu mezi panelem a střechou a tím dojde k ochlazování zadní strany panelu. Volbu systému uchycení je možno zvolit na základě konzultace s výrobcem těchto nosných konstrukcí, kteří nabízí různé způsoby uchycení.



Obr. 3-7 Rozestup mezi další řadou panelů [2]

- Výšku  $b$  nakloněného panelu vypočteme:

$$b = a \cdot \sin(\beta) [m; m, -] \quad (3.4.8)$$

Kde:

$\beta$  – úhel natočení panelu ve vertikálním směru, volíme dle (3.2)

$a$  – výška panelu udána výrobcem (včetně rámu)

- Rozestup mezi řadami panelů stojících na nosné konstrukci se vypočte:

$$c = \frac{b}{\tan(\gamma)} [m; m, -] \quad (3.4.9)$$

Kde:

$\gamma$  – úhel dopadu slunečních paprsků v zimním období ( $16,7^\circ$ )

Při výpočtech se vychází ze základních goniometrických funkcí a matematických principů. Úhel  $\gamma$  je dán úhlem dopadu slunečních paprsků vzhledem k rovině na zemi v zimním období, kdy je tento úhel na nejnižší hodnotě.

Tímto je zajištěno nezastínění řady panelu předchozí řadou, také z toho vyplývá, že čím více bude panel natočen o úhel ve vertikálním směru až k maximum  $90^\circ$ , tím se bude zvětšovat potřebná plocha pro instalaci FV systému daného výkonu. Pokud tedy není zastavěná plocha omezujícím faktorem, volí se natočení panelů ve vertikálním směru mezi  $30 - 45^\circ$  a horizontálně nejlépe  $0^\circ$  k jihu. Uvedené výpočty jsou jako nastínění možného výpočtu, samozřejmě pro výpočet můžeme používat plochy jakéhokoliv tvaru, hlavní požadavek je, aby bylo možno panely na danou plochu správně uchytit a taky aby byly splněny podmínky statiky dané budovy. Taky pro co nejlepší účinnost je třeba se řídit základními pravidly jako výše uvedené natočení panelů v obou osách a rozestupy dle výpočtu [9].

### 3.5 Připojení FV modulů

Fotovoltaické panely, které lze propojit musí být stejného typu, se stejnými technickými parametry, poté lze FV panely propojovat mezi sebou a to buď sériově, nebo paralelně, či sérioparalelně. Pro tato propojení platí určitá pravidla. Při propojování FV panelů sériově, se násobí hodnota napětí na výstupu počtem panelů v sérii, ale proud zůstává stejný a naopak je to při paralelním spojení a také je možná kombinace sériově-paralelního spojení, kdy se nám stejným způsobem mění základní hodnoty proudu a napětí. Nevýhodou sériového spojení je to, že výstupní proud sériově spojených FV panelů je tak silný, jako je jeho nejslabší článek, tzn. pokud dojde nešťastnou náhodou k zastínění, poškození, jednoho z panelů a tím ke snížení proudu třeba i na nulu, tak se výstupní proud bude odvíjet od tohoto panelu. Tuto skutečnost je možné obejít, pokud mají panely tzv. obtokové diody a to jak pro sériovou, tak pro paralelní kombinaci spojení, při sériovém spojení dioda zajišťuje (By-Pass). Umožní průchod proudu z ostatních nezastíněných panelů a u paralelního spojení zase řeší vyrovnávání proudů, tak aby nedocházelo v noci k zpětnému vybíjení do FV panelů. Toto je třeba brát v potaz, abychom mohli správně dimenzovat průřez kabelu, který povede od FV panelů k solárnímu regulátoru, MPPT měniči. Fyzicky se panely propojují pomocí solárních konektorů. Na výstupu z FV panelu jsou většinou dva cca metrové kabely, které mají párové svorky, pokud panely propojujeme sériově, tak se kabely zapojují klasicky z kladného na záporný a dále se takto propojí všechny panely. Pokud se zapojují panely paralelně, tak se propojují kladné a záporné póly každého z panelů. Při paralelním spojení, kdy nám narůstá proud se připojení kabelu k MPPT měniči musí zvolit správně dimenzovaný kabel, tak aby bylo zajištěno bezpečný průchod proudu všech panelů od panelu k měniči [12].

#### 3.5.1 Připojení akumulátoru

Připojení se provádí klasickými kabely, které musí být dimenzovány na maximální proud z výstupu regulátoru, tento maximální proud nám udává výrobce regulátoru v jeho technické specifikaci [12].

#### 3.5.1 Připojení měniče k regulátoru

Připojení měniče k regulátoru je značně omezeno maximálním výstupním proudem z regulátoru, proto je zapotřebí dbát na to, aby se dopředu vědělo, jaká bude zátěž a podle toho se může správně navrhnout připojení měniče, jelikož měnič je možné připojit přímo na baterii. Měnič se připojuje kabely, které jsou přímo od výrobce toho daného měniče, a pro prodloužení se použije kabel o stejném průřezu [12].

#### 3.5.2 Připojení spotřebičů k regulátoru

Pro spotřebiče platí obdobné pravidlo, jako pro připojení měniče, tudíž spotřebiče s malým odběrem proudu se mohou připojit přímo na výstup z regulátoru, zatímco spotřebiče s vyššími odběry je lepší připojit přímo na svorky akumulátoru. Jedná se například o to, aby při rozběhu motorů je jejich rozběhový proud několikanásobně větší, tak aby bylo umožněn tento rozběh je zapotřebí dodat na zdroji vyšší proud [12].

Další možností je při spojování použít DC box, což je zařízení určeno ke sdružování větví FV modulů, které má jasně definovány vstupní parametry na každou větev (string) a také umožňuje připojit pojistky na každou větev, tak aby nedošlo k poškození panelů. Umožňuje také instalovat přepětovou ochranu [13].

DC String control je chytrější zařízení, plní stejnou funkci jako DC box a navíc dokáže monitorovat proudy v jednotlivých větvích [13].

### 3.6 Výpočet parametrů FV modulů vzhledem k teplotě

#### 3.6.1 Stanovení maximálního napětí naprázdno

Napětí naprázdno se zvyšuje se snižující se teplotou. Maximální napětí naprázdno může být vypočteno použitím parametru napětí naprázdno FV modulu a teplotního koeficientu. Musí se pracovat s nejnižší teplotou, která je možná v daném místě instalace FV systému [6].

- Maximální napětí naprázdno:

$$U_{DCmaxMOD} = U_{ocMOD} \cdot \left(1 + \frac{T_{MOD\%} \cdot \Delta T}{100\%}\right) \quad [V; V, \%/K, K] \quad (3.6.1)$$

Kde:

$U_{ocMOD}$  – Napětí naprázdno FV modulu

$T_{MOD\%}$  – Teplotní koeficient modulu

$\Delta T$  – Rozdíl teplot mezi minimální očekávanou teplotou modulu a teplotou STC

#### 3.6.2 Stanovení minimálního napětí MPP

Napětí naprázdno se naopak snižuje se zvyšující se teplotou. Minimální napětí FV modulu může být vypočteno použitím napětí při maximálním výkonu FV modulu a teplotního koeficientu. Musí se brát ohled na nejvyšší možnou teplotu, které mohou moduly dosáhnout v daném místě zapojení. Když se počítá minimální MPP napětí, mělo by se z informací od výrobce zjistit možná degradace panelů, která by mohla toto napětí ovlivnit [6].

- Minimální napětí MPP:

$$U_{DCminMOD} = U_{mppMOD} \cdot \left(1 + \frac{T_{MOD\%} \cdot \Delta T}{100\%}\right) \quad [V; V, \%/K, K] \quad (3.6.2)$$

Kde:

$U_{mppMOD}$  – Napětí FV modulu při maximálním výkonu

$T_{MOD\%}$  – Teplotní koeficient modulu

$\Delta T$  – Rozdíl teplot mezi maximální očekávanou teplotou modulu a teplotou STC

- Výpočet rozdílu teplot FV modulu:

$$\Delta T = T_{exp} - T_{STC} \quad [K; K, K] \quad (3.6.3)$$

Kde:

$T_{exp}$  – Očekávaná teplota FV modulu

$T_{STC}$  – Teplota STC (298,15K, 25°C)

Podmínkou výpočtu rozdílu teplot je, že musí být ve stejných jednotkách a jelikož se jedná o rozdíl dvou hodnot, nezáleží na tom, jestli bude ve stupních Celsia, nebo v Kelvinech [6].

### 3.6.3 Výpočet maximálního zkratového proudu

Zkratový proud se zvyšuje se zvyšující se teplotou. Tento jev je potřeba brát na vědomí při návrhu jištění a také při stanovování maximálního proudu, který může protékat měničem na jeden zapojený string při sériovém spojení FV panelů [6].

- Maximální zkratový proud:

$$I_{DCmaxSTR} = I_{SC} \cdot \left(1 + \frac{T_{maxMOD\%} \cdot \Delta T}{100\%}\right) \quad [V; V, \% / K, K] \quad (3.6.4)$$

Kde:

$I_{SC}$  – Zkratový proud modulu (stringu)

$T_{MOD\%}$  – Teplotní koeficient modulu

$\Delta T$  – Rozdíl teplot mezi maximální očekávanou teplotou modulu a teplotou STC

Na proud FV panelů má největší vliv intenzita ozáření, jak již bylo popsáno v (1.2.2.1). Proto je třeba při návrhu si nejdříve zjistit maximální možný zkratový proud při maximální intenzitě ozáření, která je možná v dané lokalitě, např. programem PV gis a z této hodnoty si od výrobce FV modulu z jeho datasheetu zjistit maximální zkratový proud při dané maximální intenzitě ozáření v dané lokalitě a poté dosadit do tohoto vzorce pro výpočet změn vzhledem k teplotě. Tímto získáme maximální možný proud, který můžou vyrobit FV panely [6].

## 3.7 String

### 3.7.1 Maximální počet modulů na string

Maximální počet modulů na jeden string se odvíjí od maximálního možného napětí vstupu měniče. Pokud by bylo napětí vyšší, mohlo by dojít k poškození měniče vlivem přepětí. Maximální napětí stringu se volí vzhledem k maximálnímu napětí, které můžou panely generovat při nejnižší teplotě, která může v dané lokalitě nastat [6].

- Maximální počet modulů na string:

$$n_{maxMODSTR} \leq \frac{U_{DCmaxINV}}{U_{DCmaxMOD}} \quad [-; V, V] \quad (3.7.1)$$

Kde:

$n_{maxMODSTR}$  – Maximální počet modulů stringu

$U_{DCmaxINV}$  – Maximální napětí na vstupu měniče nebo MPP sledovače

$U_{DCmaxMOD}$  – Maximální napětí FV modulu

### 3.7.2 Minimální počet modulů na string

String obsahuje takové množství FV modulů, které dává takové napětí, jaké by mělo vždy být vyšší, než je minimální napětí MPP měniče. Pokud napětí stringu spadne pod úroveň minimálního napětí MPP měniče vzniknou tím nadbytečné ztráty a omezení výroby způsobené neoptimálním sledováním MPP měniče, nebo sledování MPP úplně zanikne. Z těchto důvodů je potřeba brát ohled na minimální napětí stringu, které může nastat [6].

- Minimální počet modulů na string:

$$n_{minMODSTR} \geq \frac{U_{DCmppminINV}}{U_{DCminMOD}} [-; V, V] \quad (3.7.2)$$

Kde:

$n_{minMODSTR}$  – Minimální počet modulů stringu

$U_{DCmppminINV}$  – Minimální napětí MPP sledovače měniče

$U_{DCminMOD}$  – Minimální napětí FV modulu

### 3.7.3 Optimální počet modulů na string

Optimální počet modulů jednoho stringu nesmí být nižší, než vypočtený minimální počet modulů stringu a zároveň nesmí být vyšší, než je maximální počet modulů stringu [6].

Optimální počet modulů na string:

$$n_{minMODSTR} \leq n_{MODSTR} \leq n_{maxMODSTR} [-; -; -] \quad (3.7.3)$$

Kde:

$n_{MODSTR}$  – Optimální počet modulů stringu

$n_{minMODSTR}$  – Minimální počet modulů stringu

$n_{maxMODSTR}$  – Maximální počet modulů stringu

### 3.7.4 Počet stringů

Z definovaným celkovým výkonem FV pole a předdefinovaným počtem modulů stringu, je možné vypočítat minimální počet stringů k dosažení požadovaného výkonu. Minimální počet stringů se vypočte z poměru celkového výkonu FV pole a výkonu všech FV modulů v jednom stringu [6].

- Minimální počet stringů:

$$n_{minSTR} = \frac{P_{DCGEN}}{P_{maxMOD} \cdot n_{MODSTR}} [-; W, W, -] \quad (3.7.4)$$

Kde:

$n_{minSTR}$  – Minimální počet stringů

$P_{DCGEN}$  – Celkový instalovaný výkon FV pole

$P_{maxMOD}$  – Maximální výkon jednoho modulu FV pole

$n_{MODSTR}$  – Počet modulů ve stringu

### 3.8 Dimenzování vodičů (kabelů) ve FV systému

Dimenzování vodičů a výpočet průřezu vodičů k návrhu FV elektrárny se vychází z dovoleného úbytku napětí pro FV kabely, který by neměl být větší, než 5% dle ČSN 33 2130 [25].

- Výpočet úbytku napětí v SS obvodu (sériové řazení FV panelů):

$$\Delta U = \frac{\Delta u_{\%} \cdot U_{DCminMOD} \cdot M}{100} \quad [V; \%, V, -] \quad (3.8.1)$$

Kde:

$\Delta u_{\%}$  – Dovolенý úbytek napětí v %

$U_{DCminMOD}$  – Minimální napětí FV panelu vzhledem k nejvyšší teplotě panelu

$M$  – Počet panelů v sérii

- Výpočet minimálního průřezu pro SS kabel (sériové řazení FV panelů):

$$S_{min} = \frac{x \cdot l \cdot y \cdot I_{scSTC}}{\gamma \cdot \Delta U} \quad [\Omega; \Omega \cdot mm^2 \cdot m^{-1}, -, m, -, A, V] \quad (3.8.2)$$

Kde:

$\gamma$  – Měrná elektrická vodivost

$x$  – Počet vodičů

$l$  – Délka vodiče

$y$  – Koeficient proudové přetížitelnosti  $> 1,25$  (vhodné předdimenzování)

$I_{scSTC}$  – Maximální zkratový proud FV panelů (stringu)

$\Delta U$  – Úbytek napětí na vedení

Ochrana proti proudovému přetížení se nemusí provádět u hlavních vodičů fotovoltaiky, pokud je zatížitelnost vodiče rovna nebo vyšší než  $1,25 \times I_{scSTC}$  fotovoltaického zdroje a také u fotovoltaických vodičů stringů a fotovoltaických polí, pokud je zatížitelnost vodiče rovna nebo vyšší než  $1,25 \times I_{scSTC}$  v každém místě.

Reálně firmy, které realizují FV systémy a mají s tímto zkušenost, ví přibližně, jaký průřez můžou na danou fotovoltaiku instalovat, tímto výpočtem se vypočte potřebné minimum pro FV panely, takže v reálu se pracuje vždycky na vyšších průřezech, i když na papíře vyjde průřez menší.



### 3.9 Ztráty ve FV systému

Ztráty energie v podobě tepla jsou v celém systému. Od výroby i v samotných panelech až po konečný připojený spotřebič a proto je třeba je v návrhu FV systému brát v potaz. Pro definování ztrát celého FV systému se pracuje se ztrátami na každém z dílčích prvků celého systému. Pro definování ztrát na kabelovém SS vedení vyjdeme ze základních vzorců [25].

- Výpočet odporu kabelů:

$$R_k = \rho \cdot \frac{x \cdot l}{S} \quad [\Omega; \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}, \text{m}, \text{mm}^2] \quad (3.9.1)$$

Kde:

$\rho$  – Rezistivita materiálu vodiče

$x$  – Počet vodičů

$l$  – Délka vodiče

$S$  – Průřez vodiče

- Výpočet ztrát na kabelu:

$$P_{ztr} = R_k \cdot I_p^2 \quad [\text{W}; \Omega, \text{A}] \quad (3.9.2)$$

Kde:

$R_k$  – Odpor vodiče (kabelu)

$I_p$  – Proud procházející vodičem, z panelů

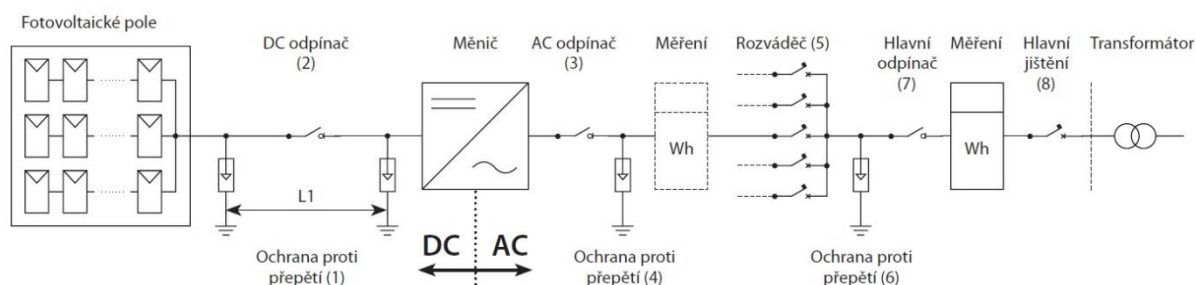
Ztráty se samozřejmě budou měnit v závislosti na proudu, který protéká vodičem. Při vyšších hodnotách osvětlení se také zvyšuje výkon panelu, např. pro 100Wp panel při vyšší hodnotě ozáření v letním období, nám může dodávat až 120W, proto se musí brát v potaz tento jev zejména při dimenzování vodičů pro FV panely dle příslušných norem.

Ztráty se nevytváří jen na kabelech, ale také na spojovacích svorkách vlivem přechodového odporu, tyto ztráty už je mnohem těžší určit a vyžadovaly by mnohem propracovanější výpočty. Z hlediska zjednodušení výpočtu celkových ztrát se uvádí ztráty na kabelech a spojovacích svorkách v rozmezí (2 - 5) % celého systému.

Další ztráty v systému jsou tvořeny na dílčích prvcích, ať už to jsou měniče, nabíjení akumulátoru, regulátory, spojovače a další zařízení, které jsou v systému připojeny. Tyto ztráty by měly být definovány výrobcem jednotlivých komponent v jejich technické specifikaci a dále také záleží (u ostrovního systému) jestli bereme energii z baterie, nebo z regulátoru či měniče a popřípadě v kombinaci. Ztráty celkového navrženého FV systému by neměly být vyšší, než 20% celkových ztrát, aby tento navržený systém byl z ekonomického hlediska správně navržen, proto je určování ztrát jednou z nejdůležitějších vlastností, při návrhu celého FV systému.

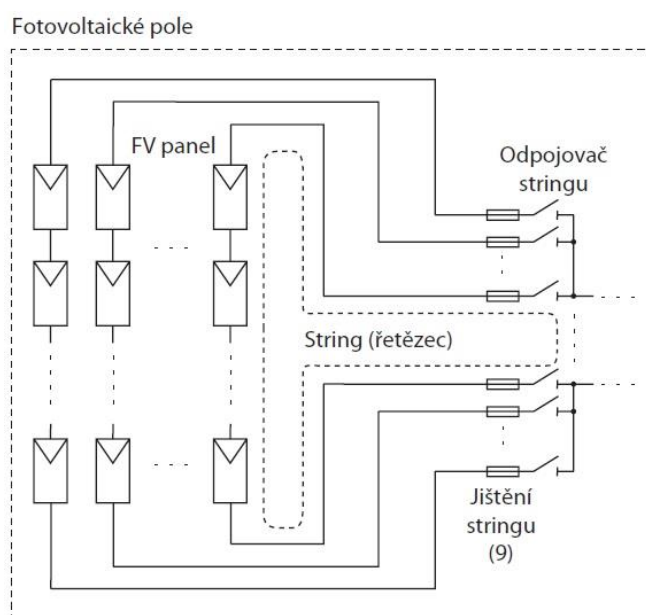
### 3.10 Jištění FV systému

Pro jištění FV systému, který je znázorněn na obrázku (xx), kde je zdrojem FV pole, které je spojeno pomocí vedení s měničem, jedná se o systém pracující ze sítě. Pokud je větší počet paralelně řazených stringů, je potřeba zajistit ochranu panelů proti zpětným proudům a proudovou ochranu kabelů při poruše, které nám zajistí např. pojistky PF10 v kombinaci z odpojovačem OPF10, nebo pojistky pro jištění polovodičů. Dále je na obrázku řešena ochrana proti přepětí. Pokud je vedení mezi FV polem a měničem větších vzdáleností ( $>10\text{m}$ ), tak je vhodné použít svodiče přepětí, jak u měniče, tak v blízkosti FV pole. Pro údržbu měniče, je vhodné zvolit odpínače na obou stranách, jak na AC, tak na DC straně. Následuje ochrana proti přepětí za AC odpínačem, měření vyrobené energie a přivedení do rozváděče. Pokud je FV zdroj velkých výkonů, tak jsou do rozváděče připojeny jednotlivé paralelní větve přes jističí přístroje. Rozvaděč je chráněn ze strany připojení k distribuční síti svodičem přepětí. Následuje hlavní odpínač, měření dodané a spotřebované energie a hlavní jištění, které chrání proti přetížení a zkratu [14].



Obr. 3-8 Příklad jištění FV systému [14]

Pokud je větší počet paralelních větví, dle obrázku (xx), musí se zajistit ochrana panelů proti zpětným proudům a nadproudovou ochranu kabelů. Pokud počet stringů nepřesáhne hodnotu 3, nehrozí poškození panelů zpětným poruchovým proudem a v tomto případě je vhodné řešit ochranu kabelů jejich vhodným předimenzováním, kdy je nutno brát ohled na maximální zpětný poruchový proud FV panelu [14].



Obr. 3-9 Jištění FV pole [14]

### 3.10.1 Podmínky pro návrh jisticích prvků DC strany

Volba jmenovitého proudu pojistkových vložek pro DC jištění FV zdrojů, kdy se parametry volí s ohledem na výsledné sérioparalelní zapojení FV panelů a jejich vlastností, kdy je zapotřebí si řádně prostudovat technickou specifikaci pro konkrétní panel a jeho dílčí hodnoty [14].

- Pro jmenovité napětí jisticích přístrojů platí:

$$U_n \geq 1,2 \cdot U_{VOC\_STC} \cdot M \text{ [V; V, -]} \quad (3.10.1)$$

*Kde:*

$U_{VOC\_STC}$  – Napětí naprázdno FV panelu při STC

$M$  – Počet panelů v sérii

Kde koeficient 1,2 zohledňuje nárůst napětí při nízkých teplotách okolí, výrobní tolerance FV panelů.

- Pro volbu jmenovitého proudu pojistkové vložky platí:

$$1,4 \cdot I_{SCNOCT} \leq I_N \leq 0,85 \cdot I_{M\_REV} \text{ [A, A, A]} \quad (3.10.2)$$

Pro pojistkové vložky charakteristiky gR, gS, gG s  $I_N \geq 10 \text{ A}$ .

Pro pojistkové vložky charakteristiky gR, gS, gG s  $I_N < 10 \text{ A}$  se volí koeficient

$$0,7 \cdot I_{M\_REV}.$$

*Kde:*

$I_{SCNOCT}$  – Zkratový proud při normálních podmínkách NOCT.

$I_{M\_REV}$  – Maximální zkratový zpětný proud panelu

Kde koeficient 1,4 zohledňuje použití při teplotách okolí 60°C, intenzitě záření 1000W/m<sup>2</sup> a vliv cyklického zatěžování. U panelů sledujeme maximální dovolenou hodnotu pro jištění, která je dána v technické specifikaci panelu výrobcem [15].

Pokud se jedná o hromadné jištění sérioparalelních řazení FV panelů, je výsledný proud úměrný počtu paralelních větví. Přepětové ochrany v blízkosti měniče i FV panelů, se používají, pokud jsou FV panely vzdáleny od měniče více, než 10m. Důvod je ten, že při delší vzdálenosti vedení může dojít ke značnému nárůstu napětí vlivem indukce do vedení [15].

### 3.11 Výpočet programem PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System)

Při dalším navrhování FV systému je návrh programem PV GIS. Tento program obsahuje databáze slunečního záření pro celou Evropu a Afriku. Jeho výpočetní model využívá údaje ze satelitních měření a z pozemních meteostanic. Tento program, který je dostupný zdarma on-line dokáže přibližně vypočítat průměrnou výrobu elektřiny z navrženého FV systému, ať už je to ostrovní systém, nebo systém pracující ze sítě pro jakoukoliv lokalitu. Program se skládá z mapy Evropy pro určení daného místa instalace PV systému a čtyř záložek [16].

#### 3.11.1 Odhad FV(On-grid systém)

V první záložce se volí technologie FV modulů, kdy se může vybírat mezi klasickým krystalickým křemíkem a mezi tenkovrstvými moduly CdTe, CIS nebo CIGS.

- Dalším parametrem je maximální instalovaný výkon FV systému, kdy se volí celkový výkon všech FV modulů v součtu (celý systém) a je to jejich  $W_p$  hodnota, která je dána výrobcem modulů.
- Odhad systémových ztrát, což je součet procentuálních ztrát na všech prvcích od zdroje po spotřebu, do níž jsou zahrnuty ztráty na kabelovém vedení, na invertoru, znečištění povrchu panelu a další. Jako defaultní hodnota je 14 % ztrát z celkového systému. Tyto ztráty přesněji určí výpočet ztrát pro navržený systém.
- Způsob uchycení FV modulů se zvolí podle toho, jestli jsou panely přímo položeny na podkladu, nebo jestli jsou volně stojící na nosných konstrukcích.
- Úhel natočení modulů vzhledem k vodorovné rovině a azimut což je orientace panelu ke světovým stranám.
- Směrovací nastavení, které se volí pro tzv. trackery ve vertikální ose a náklonu panelů. Program umí optimalizovat nastavení trackovacího zařízení vzhledem k danému místu instalace.

Program na výstupu vypočítá odhadované ztráty vzhledem k teplotě a nízkému ozáření, ztráty vzhledem k úhlové odrazivosti pro dané místo. Také vypočítá průměrnou denní a měsíční výrobu za celý rok a průměrnou denní a měsíční hodnotu globálního ozáření a nakonec přibližnou hodnotu vyrobené elektrické energie za celý rok pro danou lokalitu navrženého a instalovaného FV systému [16].

#### 3.11.2 Měsíční ozáření

Další záložkou je měsíční ozáření daného místa, kde se volí databáze ozáření a dále ozáření na zvolený úhel. Výstupem je tabulka ozáření na horizontální rovině k porovnání s hodnotou ozáření na optimálně nakloněné rovině, dále ozáření na zvoleném úhlu roviny, průměrnou denní teplotu. Program vypočítá optimální úhel náklonu pro fixované moduly na celý rok, tak aby měly co nejvyšší efektivitu [16].

#### 3.11.3 FV odhad (Off-grid systém)

Pro výpočty off-grid systému se zvolí maximální instalovaný výkon FV modulů, napětí a kapacita baterie v Ah. Dále se také určuje odpojení baterie od zátěže při procentuálním vybití baterie. Toto je nutné zadat z důvodu životnosti zejména olověných baterií, kdy jejich životnost se

rapidně snižuje při opakovaném, častém vybití. Tak aby k tomuto nedocházelo, tak se baterie odpojují od zátěže. Program definuje defaultní hodnotu 40% tzn. baterie je vybitá z šedesáti procent. Další vstupní hodnotou je denní spotřeba ve Wh, kterou určíme podle toho, jaké odběry máme připojeny na tento systém klasicky z příkonu dané zátěže a době kterou je v provozu v daném dni, tj. ve Wh. Tato spotřeba se může také programu zadat v textovém souboru, který bude obsahovat 24 řádků a na každém z nich bude číselně zadán odběr v dané hodině (1-24). Posledním vstupním parametrem je poloha FV modulů [16].

Výpočet výkonu je založen na hodinových hodnotách ozáření v zadané lokalitě v periodě pěti let. Jako výkonnostní poměr program předpokládá hodnotu 0,7 pro celý systém, tzn. ve srovnání s teoretickým energetickým výstupem z FV modulů pro danou hodnotu ozáření je 70% tohoto výkonu uloženo v baterii. Zbytek jsou ztráty vzhledem k nižší účinnosti modulů při vyšších teplotách, ztráty při nabíjení baterie a nedokonalou shodu mezi modulem a zátěží. To platí pouze pro dobře navržený systém s moduly s přiměřeně vhodným napětím k pro nabíjení baterie a s jednoduchým regulátorem nabíjení. Neplatí pro systémy s invertory a ovládáním bodu maximálního výkonu. Tento program je dostupný na těchto stránkách (pro Evropu): <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#> [16].

The screenshot displays the PVGIS web application interface. At the top, there are logos for JRC and CM SAF, and the title 'Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps'. Below the header, there is a navigation menu and a search bar. The main area is divided into a map on the left and a configuration panel on the right. The map shows Europe with a red pin over Germany. The configuration panel includes sections for 'Performance of Grid-connected PV', 'Radiation database', 'PV technology', 'Installed peak PV power', 'Estimated system losses', 'Fixed mounting options', 'Tracking options', and 'Output options'. A 'Calculate' button is located at the bottom of the configuration panel.

Obr. 3-10 Náhled programu PVGIS [16]

## 4 ON, OFF - GRID SYSTÉMY

Fotovoltaické moduly se využívají v širokém rozsahu výkonů. Od pár miliwattů až po velké kilowattové nebo megawattové systémy. Je také známo, že fotovoltaika je drahou metodou výroby elektrické energie. V off-grid systémech ale může být fotovoltaika jako neekonomičtější řešení k poskytnutí požadované elektrické energie.

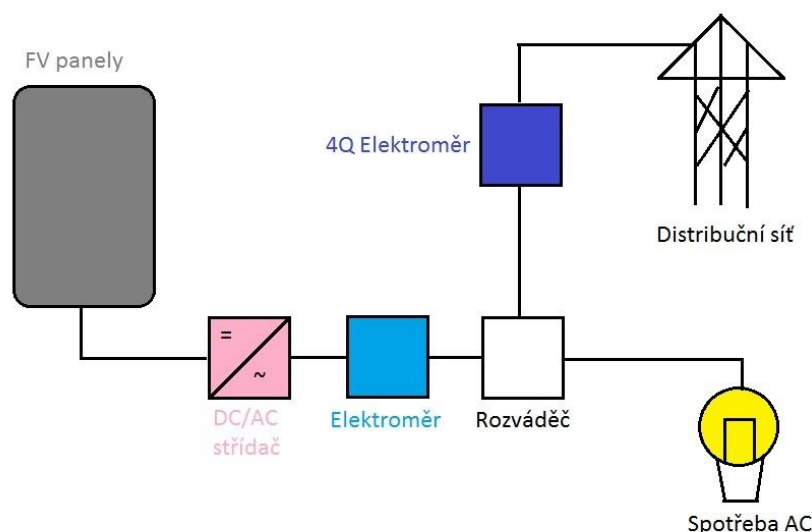
### 4.1 On-grid systém

On-grid systémy, nebo také systémy pracující se sítí lze rozdělit do základních způsobů provozu:

- Spotřebitelský systém
- Distribuční systém

#### 4.1.1 Spotřebitelský systém

Spotřebitelský systém je systém, který je určen zejména k vlastní spotřebě, jako dodatkový zdroj elektrické energie pro spotřebitele, který jej využívá. Pokud spotřebitel elektrické energie vyrobené tímto způsobem nevyužije veškerou elektrickou energii k vlastní spotřebě, je možné tento přebytek po domluvě s provozovatelem distribuční soustavy v daném místě připojení a splnění legislativních podmínek dodávat do veřejné distribuční sítě [17]. Principiální schéma na obrázku (4-1).

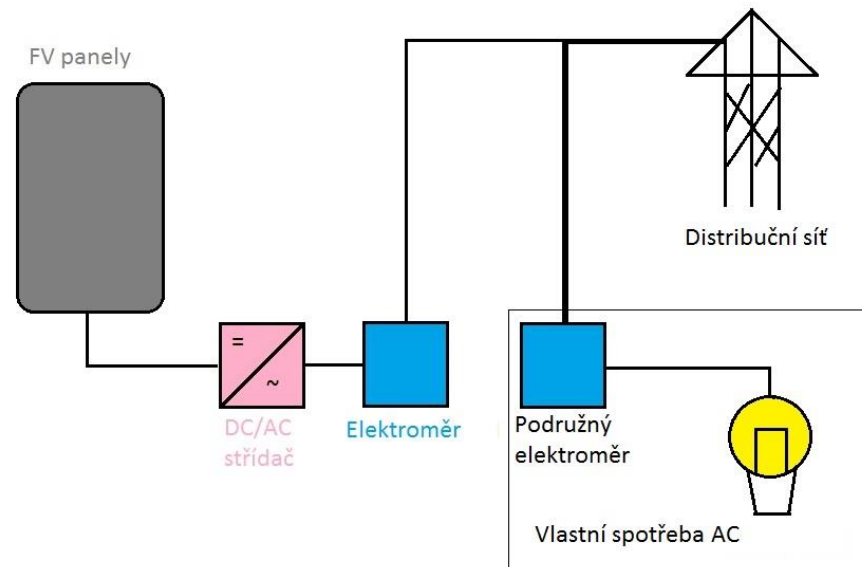


Obr. 4-1 Spotřebitelský systém [17]

#### 4.1.2 Distribuční systém

Distribuční systém je systém, který využívají zejména distributoři elektrické energie, a je primárně určen distribuovat vyrobenou elektrickou energii do veřejné distribuční soustavy. Tyto výroby jsou většinou převážně velkých výkonů nad 200kWp jmenovitého výkonu. Tyto velkoobjemové FV elektrárny jsou méně oblíbené u provozovatelů distribučních a přenosových soustav zejména z toho důvodu, že skokově vytváří výkonové špičky v síti, např. když se rychle

mění klimatické podmínky a tím skokově vzroste výkon dané elektrárny[17]. Principiální schéma na obrázku (4-2).

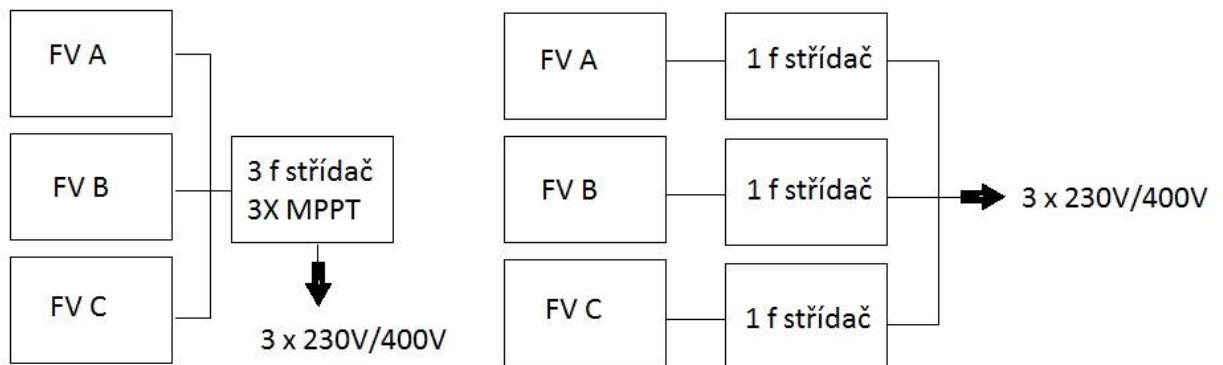


Obr. 4-2 Distribuční systém [17]

## 4.2 Systémy spojené s rozvodnou sítí

### 4.2.1 Systémy malého výkonu (10 kWp)

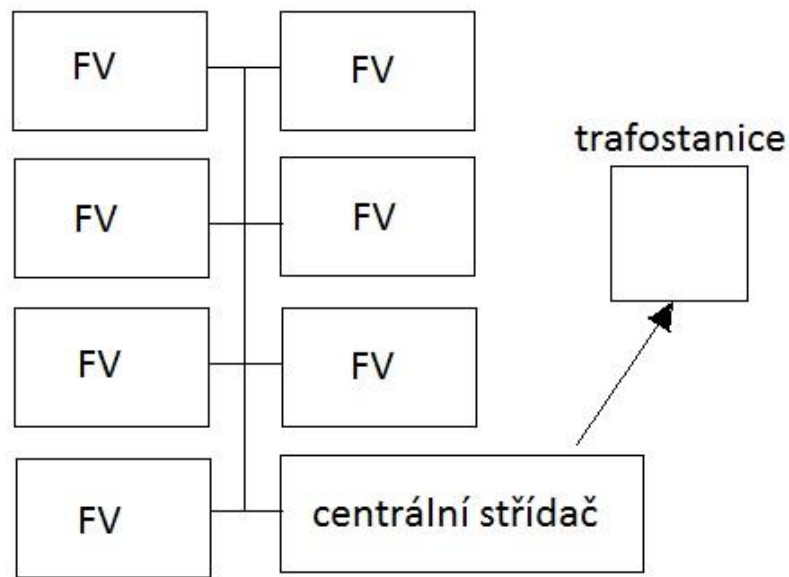
Malý systém spojený s rozvodnou sítí, který používá maximálně 50 ks fotovoltaických panelů a jeden až tři střídače [18]. Principiální schéma na obrázku (4-3).



Obr. 4-3 Systém malého výkonu [18]

### 4.2.2 Systémy středního výkonu (200kWp)

Systémy středního výkonu využívají do jednoho tisíce fotovoltaických panelů, střídače se v těchto systémech používají řetězcové, nebo centrální a také tyto systémy mají vlastní trafostanici (0,4/22kV) [18]. Principiální schéma na obrázku (4-4).



Obr. 4-4 Systém středního výkonu [18]

#### 4.2.3 Systémy velkých výkonů (nad 200kWp)

Velké systémy se skládají až s tisíce fotovoltaických panelů. Využívají centrální, nebo řetězcové střídače a jejich kombinaci. Tyto systémy mají vlastní trafostanici (0,4/22kV), případně (22/110kV) [18].



Obr. 4-5 Fotovoltaický park ve Španělsku [19]

Pozn. Na obrázku vidíme největší FV elektrárnu na světě, kterou mají ve Španělsku. Tato elektrárna má instalovaný výkon 60MW a skládá se z více než 162 000 FV panelů [19].



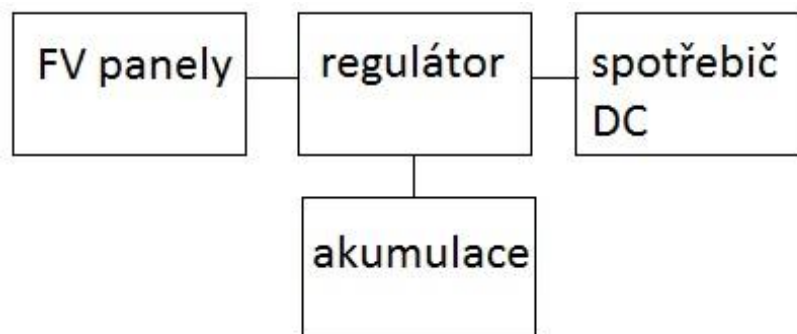
### 4.3 Off-grid systémy (Autonomní systémy)

Autonomní systémy jsou systémy, které se používají převážně tam, kde není dobrá dostupnost elektrické přípojky k distribuční soustavě, nebo jako samostatný zdroj energie pro určitou spotřebu. Tento systém je jeden z nejstarších a příklad tohoto systému můžeme vidět např. na vesmírných stanicích, různých telekomunikačních centrál v odlehlých místech, nebo jako zdroj energie pro obyvatelstvo ve větších vzdálenostech od nejbližší civilizace. Nevýhodou tohoto systému je fakt, že veškerá vyrobená elektrická energie se nemusí v danou chvíli spotřebovat, pro tyto případy se volí systémy z akumulací elektrické energie, kdy se přebytečná energie vyrobená přes den uloží např. pro napájení spotřebičů v noci, nebo za zhoršených klimatických podmínek. Výhodou i nevýhodou tohoto systému jsou bateriová úložiště, která vzhledem k dnes dostupným technologiím mají kratší dobu životnosti oproti FV panelům, to také závisí na určitých faktorech, jako jsou cykly nabití a vybití baterie, hloubka vybití baterie a další faktory ovlivňující jejich životnost [18].

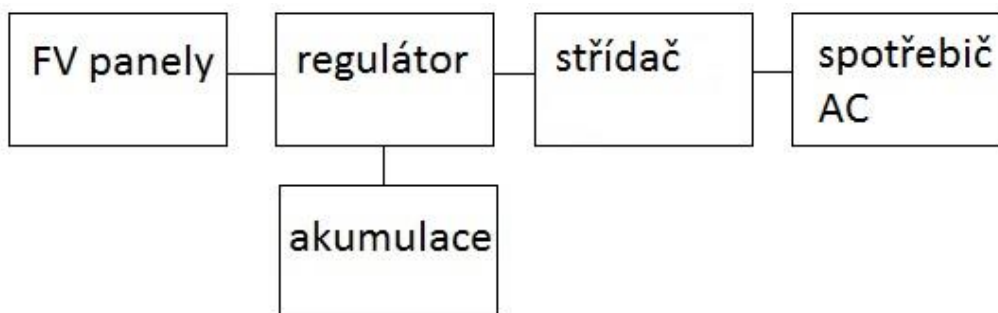
Autonomní systémy můžeme rozdělit dle typu instalace:

- DC/DC – bez akumulace
- DC/AC – bez akumulace
- DC/DC – s akumulací, obr.(xv)
- DC/AC – s akumulací, obr.(xc)

Akumulátorové baterie, které se používají v autonomních systémech a jsou převážně konstruované pro pomalé nabíjení a vybíjení, přičemž pro optimální nabíjení baterie slouží solární regulátor. Nevýhodou také je, že pokud autonomním systémem nespotřebujeme veškerou vyrobenou energii a baterie jsou plně nabité, musíme omezit výrobu, což je energeticky i ekonomicky nevýhodné řešení [18].



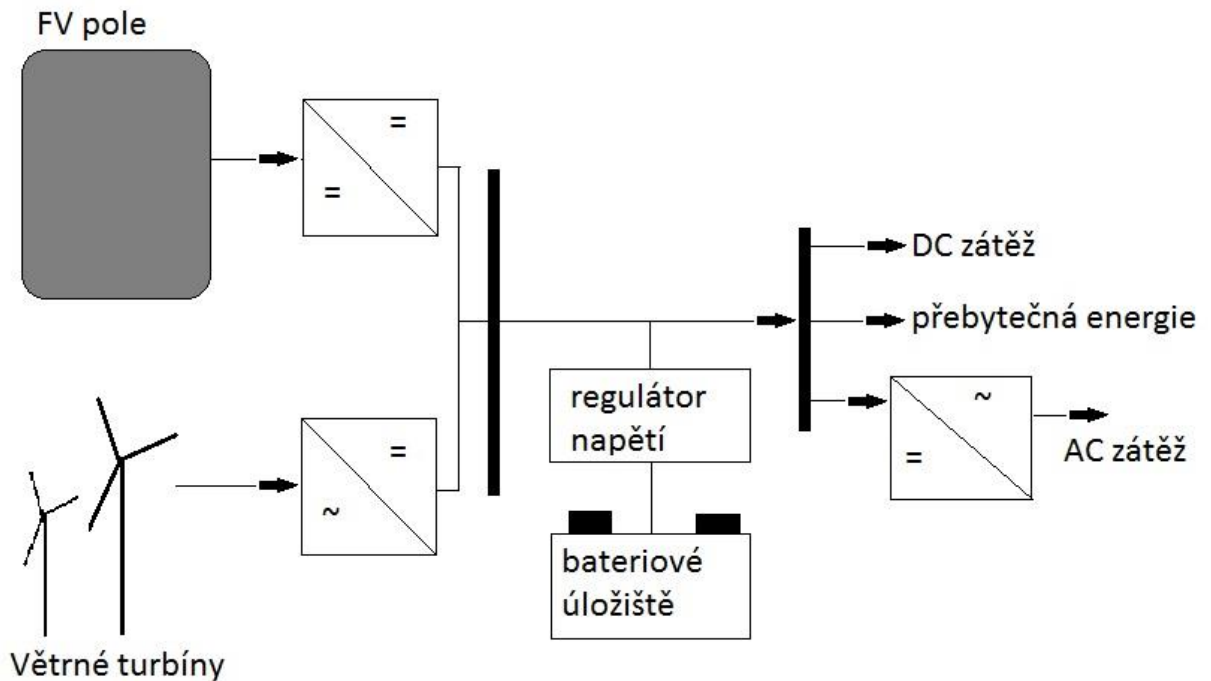
Obr. 4-6 DC/DC systém s akumulací [18]



Obr. 4-7 DC/AC systém s akumulací [18]

## 4.4 Hybridní systémy

Hybridní systémy jsou systémy kombinované s dalším zdrojem energie, nebo také síťové elektrárny a ostrovního systému. Výhoda kombinovaného systému oproti systému pracujícího se sítí je, že dokáží maximálně využít vyrobenou elektrickou energii v místě výroby např. pro vytápění, ohřev vody, zavlažování, různá bazénová čerpadla a další předem určené spotřebiče, tak aby nebylo příliš mnoho energie dodáno do distribuční sítě. Další výhodou hybridního FV systému je, že mají integrovanou funkci využití přebytečné elektrické energie ve výkonových špičkách, kdy inteligentní hybridní měnič dokáže přeměrovat přebytečnou energii v reálném čase, nebo s řízeným zpožděním do předem vybraných spotřebičů [20]. Principiální schéma kombinovaného systému z dalším zdrojem energie na obrázku (4-7).



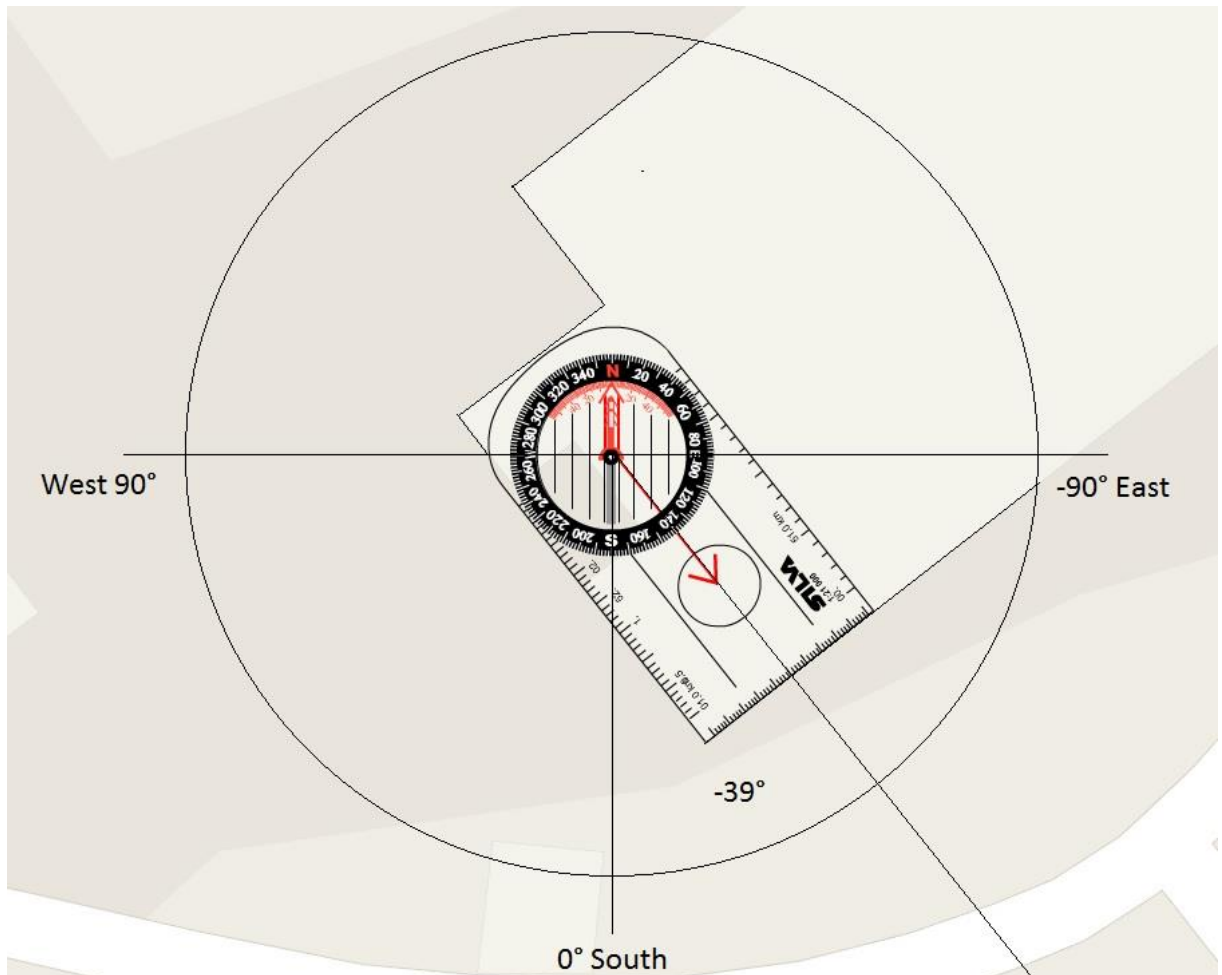
Obr. 4-8 Hybridní FV systém [20]

## 5 NÁVRH FVE

Návrh hybridního FV systému pracujícího se sítí pro budovu, která se nachází v obci Kozlovice č. p. 206, okres Frýdek-Místek. Jedná se o komerční budovu, jejíž součástí je sklad. V části budovy, pro kterou bude proveden návrh, je malá kancelář pro zaměstnance a také balicí stroj s pojízdným pásem na balení kávy do připravených sáčků. Dále bude z FV zdroje napájena kancelář tzn. Zásuvka PC a osvětlení. V budově je hlavní rozváděč, z kterého bude vyveden přívod pro hybridní měnič. K hybridnímu měniči bude zapojena baterie a měnič bude napájet balicí stroj, PC a osvětlení v kanceláři a části budovy kde se bude nacházet balicí stroj. V kanceláři bude možnost přímého prodeje zabaleného výrobku a hlavní část výroby jde na export.

### 5.1 Orientace budovy a FV panelů

Budova je orientována 141° Jihovýchodně jak je zobrazeno na obr. xx. V oblasti budovy se nenachází žádné stromy ani jiné budovy tak blízko, aby způsobily možná zastínění plochy, kde budou položeny FV panely. FV panely budou orientovány přímo na jih se sklonem 30° viz. Příloha 1.



Obr. 5-1 Orientace budovy

## 5.2 Dopadající sluneční záření v dané lokalitě

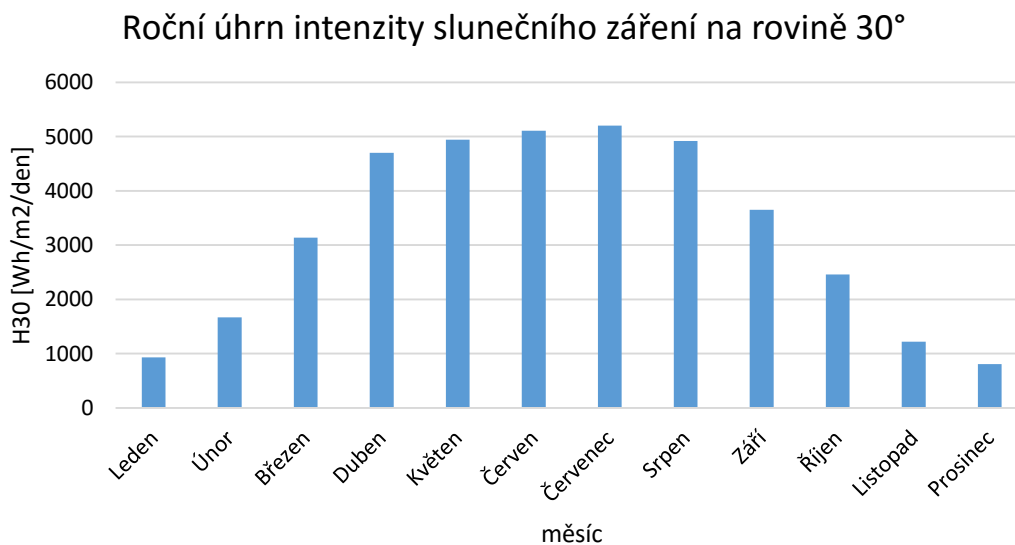
Dopadající sluneční záření v lokalitě, kde bude instalovaná FV je vypočteno programem pv GIS, který obsahuje databáze intenzity ozáření v daných lokalitách.

Tab. 5-1 Celkový dopad intenzity slunečního záření v dané lokalitě

Roční deficit ozáření vzhledem k zastínění (horizontální):				0,50%	
Měsíc	Hh	Hopt	H(30)	DNI	lopt
Leden	683	947	931	573	57
Únor	1300	1700	1670	997	51
Březen	2560	3170	3140	2040	44
Duben	4160	4710	4700	3490	34
Květen	4770	4910	4940	3500	21
Červen	5130	5060	5110	3420	14
Červenec	5130	5160	5200	3760	17
Srpen	4470	4910	4920	3760	29
Září	3040	3670	3650	2520	41
Říjen	1860	2500	2460	1680	52
Listopad	876	1250	1220	816	58
Prosinec	582	824	809	504	59
<b>Roční průměr (Wh/m<sup>2</sup>/den)</b>	<b>2890</b>	<b>3240</b>	<b>3240</b>	<b>2260</b>	<b>33</b>

Hh: Ozáření na horizontální rovině (Wh/m<sup>2</sup>/den)  
Hopt: Ozáření na optimálně nakloněné rovině (Wh/m<sup>2</sup>/den)  
H(30): Ozáření na rovině se sklonem: 30° (Wh/m<sup>2</sup>/den)  
DNI: Přímé normální ozáření (Wh/m<sup>2</sup>/den)  
lopt: Optimální úhel natočení (°)

Grafické vyjádření intenzity dopadajícího slunečního záření:



Obr. 5-2 Grafické vyjádření intenzity dopadajícího slunečního záření

Z grafu (5-2) je patrné, že největší vyrobeného výkonu navrhovaného FV systému v dané lokalitě dosáhneme v letním období v Červenci a nejméně v Prosinci.

### 5.3 Spotřeba

Spotřeba, pro kterou bude navržen FV hybridní systém je balící stroj včetně pojízdného pásu, poté osvětlení a PC. Na stroji se bude pracovat klasický osmihodinový provoz i o víkendech. Příkon jednotlivých spotřebičů je:

Osvětlení – 400W

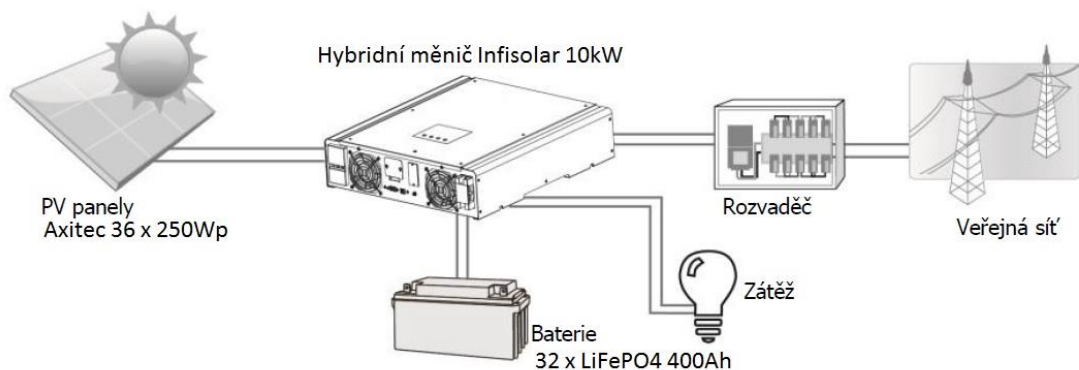
Balící stroj – 2000W

2xPC – 600 W

Průměrná denní spotřeba při provozu 12h denně je 36kWh.

### 5.4 Komponenty FV systému

Navrhovaný FV systém se bude skládat z 36 FV panelů Axitec o výkonu 250Wp (příloha A). Hybridního měniče Infisolar 10kW (příloha B). Baterie sestavené z 32 sério-paralelně spojených bateriových článků LiFePO4 o kapacitě 400Ah (Příloha C). Hybridní měnič bude pracovat v režimu Off-grid dle (5.6).



Obr. 5-3 Komponenty navrženého systému [21]

## 5.5 Výpočet parametrů FV systému

Požadavek investora bylo navrhnout FV systém tak, aby pokryl co největší část spotřeby, která je určena pro podnikatelský účel. S investorem bylo dohodnut maximální instalovaný výkon FVE 9 kWp. Vzhledem k tomuto požadavku nejprve vypočteme požadovanou plochu, kterou budou zabírat FV panely.

- Teoretický výpočet potřebné plochy:

**Přibližný výpočet potřebné plochy pro FV panely**

Maximální instalovaný výkon [kWp]

Účinnost jednoho panelu [%]

Globální hodnota ozáření [W/m<sup>2</sup>]

**Teoretický výpočet plochy [m<sup>2</sup>]**

Obr. 5-4 Výpočet plochy

Výpočet byl proveden dle (3.4.7) výpočetním programem vytvořeným v Mathematice. Jednotlivé hodnoty jsou zadány z datasheetu výrobce FV panelů. Dostupná plocha pro FV panely jak můžeme vidět na výkresu je 646m<sup>2</sup>, takže plocha není omezujícím faktorem. Hodnota ozáření v dané oblasti dle pVGIS nepřesáhne 980 W/m<sup>2</sup>.

- Výpočet minimální vzdálenosti mezi další řadou panelů:

**Minimální vzdálenost mezi další řadou panelů**

Výška panelu [mm]

Horizontální náklon panelů od roviny [°]

**Minimální vzdálenost další řady panelů [m]**

Obr. 5-5 Výpočet minimální vzdálenosti

Výpočet proveden dle (3.4.9) výpočetním programem v mathematice. Pro předimenzování jsem zvolil vzdálenost o něco větší a výška panelu je včetně A1 stojanu.

- Výpočet maximálního napětí naprázdno:

$$U_{DCmaxMOD} = 37,8 \cdot \left( 1 + \frac{-0,33 \cdot (-20 - 25)}{100\%} \right) = 43,42 \text{ V}$$

Výpočet proveden dle (3.6.1), kdy minimální teplota, která je v dané lokalitě možná je  $-20^{\circ}\text{C}$ , tím že panel sám o sobě se ohřívá a tady se jedná o teplotu panelu, zvolil jsem tuto hodnotu, jako vhodné předdimenzování, za reálných podmínek se teplota panelu nedostane pod  $-10^{\circ}\text{C}$ .

- Výpočet minimálního napětí MPP

$$U_{DCminMOD} = 30,7 \cdot \left( 1 + \frac{-0,44 \cdot (70 - 25)}{100\%} \right) = 24,62 \text{ V}$$

Výpočet dle (3.6.2). Maximální hodnota, na kterou se panel může zahřát je  $70^{\circ}\text{C}$ .

- Výpočet maximálního zkratového proudu:

$$I_{DCmaxMOD} = 8,71 \cdot \left( 1 + \frac{0,06 \cdot (70 - 25)}{100\%} \right) = 8,95 \text{ A}$$

Výpočet dle (3.6.4). Maximální teplota, na kterou se panel může ohřát je v dané lokalitě  $70^{\circ}\text{C}$ .

- Výpočet maximálního počtu modulů na string:

$$n_{maxMODSTR} \leq \frac{800}{43,42} = 18,42 \sim 18 \text{ modulů}$$

Výpočet dle (3.7.1). Maximální možný počet modulů na jeden string je 18.

- Výpočet minimálního počtu modulů na string:

$$n_{minMODSTR} \geq \frac{400}{24,62} = 16,25 \sim 17 \text{ modulů}$$

Výpočet dle (3.7.2). Minimální počet modulů na string je 17.

- Optimální počet modulů na string:

$$17 \leq n_{MODSTR} \leq 18$$

Aby byla splněna podmínka dle (3.7.3), zvolíme optimální počet modulů na 18ks.

- Minimální počet stringů:

$$n_{minSTR} = \frac{9000}{250 \cdot 18} = 2 \text{ stringy}$$

Výpočet dle (3.7.4). Minimální počet stringů je 2. V datasheetu hybridního měniče uvádí výrobce, že měnič má pouze 2 vstupy pro FV, což odpovídá navrženému počtu panelů i stringů[6].

- Dimenzování průřezu DC vodiče:

$$S_{min} = \frac{2 \cdot 25 \cdot 1,25 \cdot 8,71}{56 \cdot 0,02 \cdot 24,62 \cdot 18} = 1,09 \text{ mm}^2$$

Výpočet dle (3.8.2). Materiál vodiče je měď, délka kabelu na stringu je 50m. Koeficient 1,25 zvolen vzhledem k možnému proudovému přetížení. Dovolенý úbytek napětí je zvolen 2%. Tento průřez je nevyhovující z hlediska teplotního přetížení kdy se nám u tak malého průřezu může poškodit izolace vzhledem k tomu, že je položen na střeše a zahřívá se jak průchodem proudu, tak působením okolní teploty a slunce. Ve větších FV aplikacích se nepoužívají menší průřezy než 4mm<sup>2</sup>. Tento průřez je vhodný pro takové kombinace FV panelů, u nichž proud kabelem nepřesáhne 16A a délka mezi panely a regulátorem není větší než 20m. V našem případě je celková délka vodiče 50m. Pro tuto délku zvolíme průřez 6mm<sup>2</sup>. Volba tohoto průřezu je i z hlediska ceny celkové instalace oproti průřezu 4mm<sup>2</sup> zanedbatelná a proto zvolíme bezpečnější průřez 6mm<sup>2</sup> [21].



- Výpočet ztrát systému:

Obr. 5-6 Výpočet ztrát na DC kabelech

Výpočet dle (3.9.2) proveden v Mathematice. Maximální proud stanoven z možné maximální teploty v Červenci v dané lokalitě při maximální hodnotě ozáření. Ztráty na kabelech vzhledem k vyrobenému výkonu jsou procentuálně 1,5 %. Maximální ztráty na hybridním měniči a při nabíjení a vybíjení baterií jsou 9% z výkonu dle datasheetu výrobce. Ztráty na jistících prvcích jsou asi 0,5% vyrobeného výkonu. Celkové ztráty navrženého systému tak jsou přibližně 11%. Kombinované ztráty pro navržený systém zahrnující ztráty na panelech a ztráty na kabelech, měniči atd. jsou 19,6%.

- Jištění stringu

Jmenovitého napětí jistícího prvku:

$$U_n \geq 1,2 \cdot 37,8 \cdot 18 = 816,48 \sim 900 \text{ V}$$

Vypočteno dle (3.10.1). Jmenovité napětí jistícího prvku je 900V.

Jmenovitý proud jistícího prvku:

$$9,8 \leq I_N \leq 12,75$$

Vypočteno dle (3.10.2). Zvolený jmenovitý proud je 12A. Proud  $I_{SCNOCT}$  odečten z datasheetu výrobce z V-A charakteristiky panelu při  $800\text{W}/\text{m}^2$ .

Pro jištění stringu navrhuji pojistkovou vložku PF 10 12A gR společně s odpojovačem válcových pojistkových vložek OPF10 – 2 [14]. Jako ochranu proti přepětí bude každý string

chráněn svodičem přepětí SVF-1000-2VB-MZ příloha. Jelikož je vzdálenost větší, než 10m tyto svodiče přepětí budou použity i na straně měniče za DC odpínačem 5TE2[14]. Pro připojení baterie je průřez vodiče doporučen výrobcem na 50mm<sup>2</sup>. Jako ochranný prvek mezi baterii a měnič se použijí klasické nožové pojistky 250A [14].

## 5.6 Hybridní měnič (nastavení)

Hybridní měnič umožňuje 3 režimy nastavení měniče. První je Grid-tie se zálohou, v tomto režimu energie z FV panelů může téci do veřejné sítě, napájet zátěž a nabíjet baterie. Uživatel může v tomto režimu nastavit prioritu FV, prioritu nabíjecích zdrojů a prioritu zdroje pro napájení zátěže. Druhý režim je Grid-tie, v tomto režimu energie z panelů může téci pouze do veřejné sítě. Poslední režim je Off-grid, v tomto režimu je energie z panelů použita pouze pro napájení zátěže a pro nabíjení baterie, přetoky do sítě nejsou povoleny.

Pro náš návrh nastavíme měnič do režimu Off-grid. V tomto režimu je možnost nastavit další podrežimy vzhledem k prioritám FV. V tomto případě použijeme jako zdroj nabíjení pro baterii FV, nebo síť tzn. bude-li po pokrytí spotřeby přebytečná FV energie, použije se pro nabíjení baterie. Pokud není FV energie k dispozici, použije se nabíjení ze sítě. Jako zdroj pro zátěž se prioritně použije FV. Pokud je energie z FV nedostatek, použije se pro zátěž i baterie. Je-li baterie vybitá, poskytne zátěži energii síť jako záloha [21].

## 5.7 Legislativa

Platné zákony a vyhlášky:

- Zákon č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a výkonu státní správy v energetických odvětvích (energetický zákon)
- Zákon č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky
- Zákon č. 102/2001 Sb. o obecné bezpečnosti výrobků
- Zákon č. 505/1990 Sb. o metrologii
- Nařízení vlády č. 17/2003 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na elektrická zařízení nízkého napětí
- Vyhláška MPO č. 82/2011 Sb., o měření elektřiny a o způsobu stanovení náhrady škody při neoprávněném odběru,
- neoprávněné dodávce, neoprávněném přenosu nebo neoprávněné distribuci elektřiny
- Vyhláška ERÚ č. 51/2006 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě
- Vyhláška ERÚ č. 540/2005 Sb. o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb

Podmínky pro připojení k síti dle[22].

Nová zelená úsporám:

Pro čerpání maximální podpory ve výši 100 000 Kč si budou moci sáhnout žadatelé, jejichž systémy budou propojeny s distribuční soustavou a budou primárně určeny k pokrytí okamžité spotřeby v budově. Pro získání maximální výše podpory bude muset být systém vybaven také elektrickými akumulátory [23].

## 5.8 Ekonomické zhodnocení návrhu

### 5.8.1 Rozpočet a ceny jednotlivých komponent systému

Tab. 5-2 Rozpočet nákladů

Rozpočet FV systému a jednotlivých komponent					
p. č.	Typ, název	MJ	Množství celkem	Cena jednotková	Cena celkem
1	DC kabeláž 6mm2	m	100	30,00	3 000,00
2	DC kabeláž baterie 50mm2	m	6	145,00	870,00
3	FV panel Axitec 250Wp	ks	38	4 000,00	152 000,00
4	Bateriový článek LiFePO 4, 3,2 V 200Ah	ks	32	7 030,00	224 960,00
5	Aktivní balancovací systém UTP 16x7.5A	ks	1	16 041,00	16 041,00
6	Hybridní měnič Infinisolar 48V 10kW 3f	ks	1	86 694,00	86 694,00
7	Sada trojúhelníků 30°	ks	38	576,00	21 888,00
8	Al profil lehký	m	40	106,00	4 240,00
9	Kotvicí materiál (vruty,šrouby, úchytky)	kpl	1	10 000,00	10 000,00
10	Elektromateriál	kpl	1	10 000,00	10 000,00
<b>Cena</b>					<b>529 693</b>
<b>Jištění</b>					
11	Pojistkový odpojovač OPF10-2	ks	2	1 240,00	2 480,00
12	DC odpínač 5TE2	ks	2	1 250,00	2 500,00
13	Pojistková vložka PF 10 12A gR	ks	4	287,00	1 148,00
14	Přepětová ochrana 1000V DC	ks	4	2 208,00	8 832,00
15	Nožová pojistka 250A	ks	2	100,00	200,00
<b>Cena</b>					<b>15 160</b>
<b>Cena celkem</b>					<b>544 853 Kč</b>
<b>Celkem s DPH(21%)</b>					<b>659 272 Kč</b>

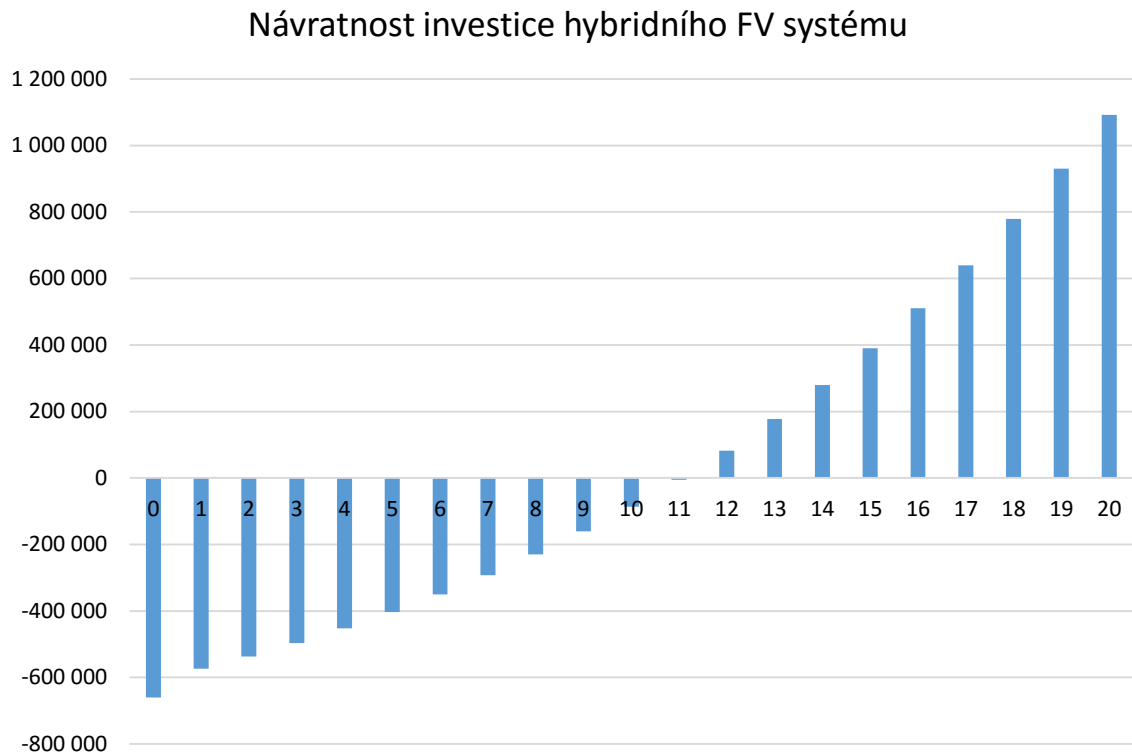
Rozpočet a jednotlivé ceny byly získány z jednotlivých e-shopů a z poptávek prodejci.

## 5.8.2 NPV, zhodnocení návratnosti investice

Tab. 5-3 NPV

Měsíc	Evd	Evm	Epm	Emissd	Ebatd	Evtd	Entd	Evtm	Entm	Ebat%den	Batcyklym	dny
1	7,26	225,00	1115,70	28,74	13,44	15,30	13,44	474,17	416,53	70,00	31,00	31
2	13,00	364,00	1008,00	23,00	13,44	9,56	13,44	267,68	376,32	70,00	28,00	28
3	23,80	737,00	1114,79	12,20	13,44	0,00	12,20	0,00	377,79	63,54	29,00	31
4	34,10	1020,00	1076,83	1,90	13,44	0,00	1,90	0,00	56,83	9,90	4,00	30
5	35,00	1080,00	1110,86	1,00	13,44	0,00	1,00	0,00	30,86	5,21	3,00	31
6	35,70	1070,00	1078,99	0,30	13,44	0,00	0,30	0,00	8,99	1,56	5,00	30
7	36,00	1120,00	1120,00	0,00	13,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	31
8	34,30	1060,00	1112,54	1,70	13,44	0,00	1,70	0,00	52,54	8,85	4,00	31
9	26,20	787,00	1081,37	9,80	13,44	0,00	9,80	0,00	294,37	51,04	23,00	30
10	18,30	567,00	1115,41	17,70	13,44	4,26	13,44	131,99	416,42	70,00	31,00	31
11	9,26	278,00	1080,78	26,74	13,44	13,30	13,44	399,29	403,49	70,00	30,00	30
12	6,17	191,00	1114,42	29,83	13,44	16,39	13,44	507,37	416,05	70,00	31,00	31
Množství el.energie za rok [kWh]	8499,00	13129,70			13129,70			1780,50	2850,19		220,00	
Cena za elektřinu bez FV systému 2016 [kč/rok]												60 353 Kč
Cena za elektřinu z FV systémem 2016 [kč/rok]												19 202 Kč
Odhadovaná roční úspora za elektrickou energii [kč/rok]												41 151 Kč
Náklady na údržbu [kč/rok]												-10 000 Kč
Dotace						100 000						
Investice						-660 000						
diskontní sazba						10%						
peněžní tok						41 000						
Roční odhadovaný růst cen tarifů elektřiny						5%						
Pokles vyrobené energie [%/rok]						1						

Grafické zhodnocení návratnosti investice:



*Obr. 5-7 NPV*

Odhadovaná návratnost investice byla vypočtena na 11 let. Ve výpočtu je zahrnuta inflace cen elektrické energie za rok o 5%. Také je zahrnut pokles výroby vzhledem k poklesu účinnosti jednotlivých panelů, tento pokles byl stanoven dle datasheetu výrobce s rezervou na 80% za 20 let. Také jsou ve výpočtu zahrnuty náklady na údržbu ve výši 10 000 Kč, které jsou navyšovány 5% růstem cen. Cena za elektrickou energii v daném tarifu byla vypočtena pomocí online kalkulačky společně se stávající přidělenou distribuční sazbou C25d a tarifem Akumulace 8 Comfort[24].

Roční produkce FV systému v dané lokalitě byla vypočtena programem PVGIS dle (3.11).

## 6 ZÁVĚR

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku FV systémů, kdy popisuje základní principy funkce FV článků a FV modulů, které je potřeba znát pro správný návrh FV systémů. V další části práce popisuje základní konstrukční podmínky FV systémů, kdy je především důležité zabývat se místem a lokalitou, kde se plánuje výstavba FV systému. V problematice místa popisuje orientaci FV modulů a náklon a vliv těchto prvků na samotný výkon celého systému. Mezi konstrukční podmínky také patří samotné uchycení panelů, které se provádí pomocí popsaných konstrukčních prvků ať už na klasické střechy rodinných domů, nebo na rovné střechy. Dále popisuje potřebné výpočty pro dosažení správného výkonu a jako plochu je potřeba pro požadovaný výkon. Připojení jednotlivých panelů pomocí vodotěsných svorek a kabelů chráněným proti UV záření. Charakteristika jednotlivých panelů a působení teploty, která má za následek výkonové změny jednotlivých panelů, kdy při vzrůstající teplotou se snižuje napětí a naopak při nízkých teplotách. Změny proudu se týkají především změny intenzity slunečního záření, které dopadá na panely. Výpočty těchto veličin pro správný návrh a dimenzování jednotlivých kabelů, které propojují jednotlivé komponenty celého systému. Popisuje ztráty FV systému, které je nutno znát pro přibližné odhady produkce. Jištění je popsáno jednotlivých komponentů, přičemž je rozebráno, za jakých podmínek se jistí, jak na straně fotovoltaických panelů, tak na straně měniče či regulátoru. Program PVGIS je v této práci popsán, jak se s ním pracuje a co vyjadřují jednotlivé části programu. Jsou také popsány a rozebrány jednotlivé způsoby provozování FV systému jako je systém pracující se sítí, nebo systémy ostrovní, či hybridní. V každé z těchto částí je uvedeno příslušné zjednodušené schéma zapojení ke každému popsanému způsobu provozu. V poslední části je proveden samotný návrh systému, pro tento návrh byl vybrán objekt, který se nachází dle popisu v práci. Pro tento objekt byla dle předepsaných postupů vypočteny jednotlivé proudy a napětí, které mohou nastat v systému, dále popsány jednotlivé komponenty a jejich zapojení. Jedná se o hybridní fotovoltaickou elektrárnu, která aby měla nějaký smysl, tak bude použita pro pokrytí spotřeby pro podnikatelský záměr, kdy se investorovi jedná hlavně o to, aby ušetřil za cenu elektrické energie, jelikož prodej silové elektřiny za cenu na trhu, která je vyrobena pomocí FV zdrojů je od roku 2013 zcela pozastaven, neboli snížen na nulovou hodnotu. Vzhledem k tomu, že je počítána cena za elektrickou energii, která obsahuje cenu za silovou elektrickou energii, která je v současné době na nejnižších číslech, byl v práci udělán předpoklad inflaci cen za silovou elektřinu a také za distribuci a všechny poplatky, které by investor musel zaplatit. Jelikož se jedná o ostrovní systém o výkonu do 10 kWp, nepotřebuje investor licenci, jakož to podnikatel s elektrickou energií. Projektový návrh neobsahuje popis připojení jednotlivých spotřebičů a jištění na AC straně, tento projekt je vyhotoven ve zvláštním projektu, který není součástí této práce. Práce také obsahuje přílohy navržených komponentů celého systému. Jelikož je výroba v dané lokalitě v zimních obdobích velice nízká, je potřeba energii čerpat ze sítě, z tohoto důvodu je vybrán hybridní systém, který zabraňuje přetokům do sítě. V tomto návrhu jsou popsány odhady, jelikož reálné hodnoty se budou určitě lišit, je potřeba toto brát v potaz. Provozní výkonost navrženého systému se odhaduje na 80%. Pro zjednodušení výpočtů byl napsán program v programu mathematica, který je součástí přílohy.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] LUQUE, A. a Steven. HEGEDUS. *Handbook of photovoltaic science and engineering*. 2nd ed. Chichester, West Sussex, U.K.: Wiley, 2011. ISBN 0470721693.
- [2] MASTNÝ, PETR. *Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011*. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [3] *Practical handbook of photovoltaics: fundamentals and applications*. 2ND ED. WALTHAM: ACADEMIC PRESS, C2012. ISBN 978-0-12-385934-1.
- [4] *Standard Test Conditions (STC): definition and problems* [online]. 2011 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://sinovoltaics.com/learning-center/quality/standard-test-conditions-stc-definition-and-problems/>
- [5] *Axitec 250 Wp Datasheet. Solární-panely* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://solarni-panely.cz/content/download/4987/37578/file/Datovy%CC%81%20list%20Axitec%20250Wp.pdf>
- [6] *Design of a PV plant. Sma* [online]. Německo, 2013 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://files.sma.de/dl/1354/DC-PL-en-11.pdf>
- [7] *Global irradiation and solar electricity potential. Joint Research Centre: Institute of Energy and Transport* [online]. 2012 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmeps/eu\\_cmsaf\\_hor/G\\_hor\\_CZ.pdf](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmeps/eu_cmsaf_hor/G_hor_CZ.pdf)
- [8] *Energie slunečního záření. ISOF ENERGY* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.elektrinazestrechy.cz/fotovoltaika.aspx>
- [9] *Orientace FV panelů. Fotovoltaické-systémy* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.fotovoltaicke-systemy.info/umisteni-solarnich-panelu>
- [10] *Uchycení FV panelů. Asbportal* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.asbportal.cz/stavebnictvi/strechy/instalace-fotovoltaickych-panelu-na-sikmou-strechu>
- [11] *Výpočet plochy pro FV panely. Ceska-solarni* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.ceska-solarni.cz/kalkulacka2011.php>
- [12] *Deramax* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.deramax.cz/1-uvod-k-ostrovnim-fotovoltaickym-elektrarnam-1-dil-ze-serialu-clanku>
- [13] *Fronius* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: [http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-8D6B12AA-77B007C2/fronius\\_ceska\\_republika/hs.xsl/30\\_6805.htm#.VzswlL7pYYo](http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-8D6B12AA-77B007C2/fronius_ceska_republika/hs.xsl/30_6805.htm#.VzswlL7pYYo)
- [14] *OEZ ochranné a spínací přístroje pro fotovoltaické panely* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.oez.cz/aktuality/ochranné-a-spinací-prístroje-fotovoltaicke-panely-bezpecna-fotovoltaika>
- [15] *OEZ nejčastější dotazy z oblasti fotovoltaiky* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.oez.cz/aktuality/nejcastejsi-dotazy-z-oblasti-fotovoltaiiky>
- [16] *PVGIS* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://photovoltaic-software.com/pvgis.php>
- [17] *Problematika fotovoltaických elektráren* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: [http://www.outech-havirov.cz/skola/files/knihovna\\_eltech/ee/fvs\\_uvod.pdf](http://www.outech-havirov.cz/skola/files/knihovna_eltech/ee/fvs_uvod.pdf)
- [18] *Návrh FV systémů* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: [pasan.feld.cvut.cz/ad1b13svs/velke/prednes\\_04\\_SVS\\_DS.pdf](http://pasan.feld.cvut.cz/ad1b13svs/velke/prednes_04_SVS_DS.pdf)

- 
- [19] *Největší sluneční elektrárny světa* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/5-nejvetsich-slunecnich-elektaren-na-svete.aspx>
- [20] *Hybridní fotovoltaická elektrárna* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/solarni-energie/hybridni-fotovoltaicka-elektrarna-casem-bude-v-kazdem-dome.aspx>
- [21] *Manuál hybridního měniče Infisolar* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: [http://www.ostrovni-elektarny.cz/docs/InfiniSolar-10KW-manual-20140714\\_CZ.pdf](http://www.ostrovni-elektarny.cz/docs/InfiniSolar-10KW-manual-20140714_CZ.pdf)
- [22] *Připojovací podmínky NN* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: [http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/technicke-informace/pripoj\\_podminky/cezdistribuce\\_pripojovacicpodminkynn\\_20150601\\_web2.pdf](http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/technicke-informace/pripoj_podminky/cezdistribuce_pripojovacicpodminkynn_20150601_web2.pdf)
- [23] *Nová zelená úsporám* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/energeticka-legislativa-cr/nova-zelena-usporam-startuje-az-100-tisick-pro-male-fve/>
- [24] *Ceník Comfort(2014)* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/elektrina/comfort/cenik/2014/d-akumulace-8.html>
- [25] *Dimenzování průřezu elektrického vodiče* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://elektronika-me-hobby.michal-kolesa.cz/dimenzovani-prurezu-elektrickeho-vodice-a-urceni-typu-elektrickeho-kabelu.php>



# PŘÍLOHA A TECHNICKÁ SPECIFIKACE POUŽITÝCH FV MODULŮ

## AXIworldpower

60-zellige/polykristalline · PV-Module

Hochleistungs-Photovoltaik-Module

Made in Germany

Die Pluspunkte:




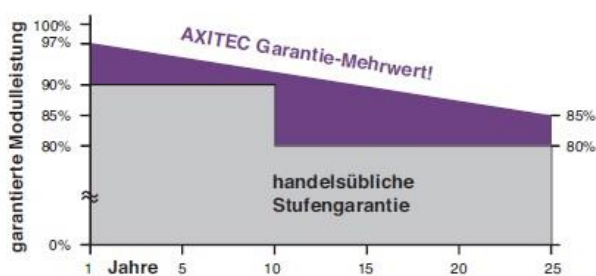
-  12 Jahre Herstellergarantie
-  Garantierte positive Leistungstoleranz von 0-5Wp durch Einzelmessung
-  Maximal 5400 Pa Schneelasten
-  100% Elektrolumineszenz-Prüfung
-  Hochwertige Anschlussdose und Steckersysteme



Abb. ähnlich 60P155DE14.0224G-081

Exklusive lineare AXITEC Höchstleistungs-Garantie!

- 15 Jahre Herstellergarantie auf 90% der Nennleistung
- 25 Jahre Herstellergarantie auf 85% der Nennleistung



Management system TÜV-certified  
DIN ISO 9001:2008, Reg.-No. 12 100 34403



Qualified, IEC 61215  
Safety tested, IEC 61730  
Periodic inspection



Full Member of PV CYCLE



Qualified, IEC 61215  
Safety tested, IEC 61730  
Periodic inspection



Elektrische Daten (bei Standard-Testbedingungen (STC) Einstrahlung 1000 Watt/m<sup>2</sup> mit Spektrum AM 1.5 bei einer Zelltemperatur von 25°C)

Typ	Nennleistung P <sub>mpp</sub>	Nennspannung U <sub>mpp</sub>	Nennstrom I <sub>mpp</sub>	Kurzschlussstrom I <sub>sc</sub>	Leerlaufspannung U <sub>oc</sub>	Modul Wirkungsgrad
AC-240P/156-60S	240 Wp	30,25 V	7,98 A	8,50 A	37,20 V	14,74 %
AC-245P/156-60S	245 Wp	30,36 V	8,13 A	8,67 A	37,50 V	15,04 %
AC-250P/156-60S	250 Wp	30,70 V	8,18 A	8,71 A	37,80 V	15,35 %

**Aufbau**

Vorderseite	3,2 mm gehärtetes, reflexarmes Weißglas
Zellen	60 polykristalline Hochleistungszellen 156 mm x 156 mm (6")
Rückseite	Verbundfolie
Rahmen	38 mm silber eloxierter Aluminiumrahmen

**Mechanische Daten**

L x B x H	1645 x 990 x 38 mm
Gewicht	19,0 kg mit Rahmen

**Anschluß**

Anschlussdose	Schutzklasse IP65 (3 Bypassdioden)
Leitung	ca. 1 m, 4 mm <sup>2</sup>
Stecksystem	Stecker/Buchse IP67, H+S

**Grenzwerte**

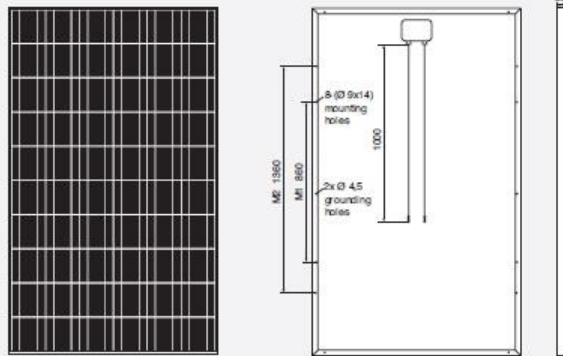
Systemspannung	1000 VDC
NOCT (nominal operating cell temperature)*	45°C +/-2K
Max. Belastbarkeit	5400 N/m <sup>2</sup>
Rückwärtsbestromung IR	15,0 A

(Es dürfen keine ext. Spannungen größer U<sub>o</sub> am Modul angelegt werden)

\*NOCT, Bestrahlungsstärke 800W/m<sup>2</sup>; AM 1,5; Windgeschwindigkeit 1m/sec; Temperatur 20°C

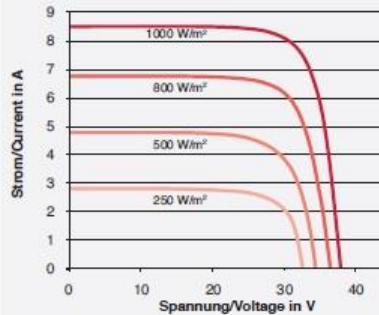
**Temperaturkoeffizienten**

Spannung U <sub>oc</sub>	-0,33 %/K
Strom I <sub>sc</sub>	0,06 %/K
Leistung P <sub>mpp</sub>	-0,44 %/K



Alle Maße in mm

**I-U Kennlinie bei 1000-800-500-250 W/m<sup>2</sup>**



Beispiel AC-240P/156-60S

Änderungen der technischen Daten sind ohne Vorankündigung möglich. Alle Rechte und Irrtümer vorbehalten.

Die Messtoleranzen betragen +/-3%.

# PŘÍLOHA B HYBRIDNÍ MĚNIČ INFISOLAR

## InfiniSolar On-grid měnič s úložištěm energie

SOLAR POWER



- 10KW třífázový on-grid měnič s úložištěm energie
- Spotřeba na místě i dodávka energie do sítě
- Programovatelná priorita dodávky z PV, baterie nebo sítě
- Uživatelsky nastavitelný algoritmus nabíjení pro různé typy baterií
- Různé a nastavitelné provozní režimy: Grid-tie, Off-grid a grid-tie se zálohou
- Zabudovaný časovač pro různé on/off režimy
- Více komunikačních rozhraní: USB, RS-232, Modbus a SNMP
- Dohledový software pro sledování stavu v reálném čase a řízení

### Přehled třífázových on-grid měničů InfiniSolar s úložištěm energie

MODEL	InfiniSolar 10KW
FAZE	3-fáze vstup / 3-fáze výstup
JMENOVITÝ VÝKON	10000W
<b>GRID-TIE REŽIMY</b>	
<b>PV VSTUP (DC)</b>	
Maximální vstupní PV výkon	14850W
Jmenovité DC napětí / maximální DC napětí	720 VDC / 900 VDC
Startovací / Zahajovací napětí pro dodávku	320 VDC / 350 VDC
Rozsah MPP napětí	400 VDC – 800 VDC
Počet MPP sledovačů / max. vstupní proud	2 / 2 x 18,6 A
<b>VÝSTUP DO SÍTĚ</b>	
Jmenovité výstupní napětí	3/N/PE, 230VAC/400VAC*
Rozsah výstupního napětí	184 – 264,5 VAC*
Jmenovitý výstupní proud	14,5 A*
Faktor výkonu	> 0,99
<b>ÚČINNOST</b>	
Maximální konverzní účinnost (DC/AC)	96%
Evropská účinnost při nominálním napětí	95%
<b>OFF GRID REŽIM</b>	
<b>VSTUP AC</b>	
Startovací AC napětí / restartovací napětí	120 – 140 VAC / 185 VAC*
Akceptovatelný rozsah vstupního napětí	175 – 280 VAC*
Maximální AC vstupní proud	28 A
Maximální DC napětí	900 VDC
Rozsah MPP napětí	400 VDC – 800 VDC
Počet MPP sledovačů / max. vstupní proud	2 / 2 x 18,6 A
Jmenovité výstupní napětí	230 VAC*
Výstupní signál	Cistý sinus
Účinnost (DC->AC)	92%
<b>HYBRIDNÍ PROVOZ</b>	
<b>VSTUP PV (DC)</b>	
Jmenovité DC napětí / Maximální DC napětí	720 VDC / 900 VDC
Startovací / Zahajovací napětí pro dodávku	320 VDC / 350 VDC
Rozsah MPP napětí	400 VDC – 800 VDC
Počet MPP sledovačů / max. vstupní proud	2 / 2 x 18,6 A
<b>SÍTOVÝ VÝSTUP (AC)</b>	
Jmenovité výstupní napětí AC	230 VAC*
Rozsah výstupního napětí	184 – 264,5 VAC*
Jmenovitý výstupní proud	14,5 A
<b>AC VSTUP</b>	
Startovací AC napětí / restartovací napětí	120 – 140 VAC / 198 VAC
Akceptovatelný rozsah vstupního napětí	184 – 264,5 VAC*
Maximální AC vstupní proud	28 A*
<b>VÝSTUP AC V REŽIMU BATERIE</b>	
Jmenovité výstupní napětí	3/N/PE, 230VAC/400VAC*
Účinnost (DC->AC)	91%
<b>BATERIE A NABÍJEČ</b>	
Jmenovité DC napětí	48 VDC
Maximální nabíjecí proud	80 A
<b>OBECNÉ</b>	
<b>ROZMĚRY A HMOTNOST</b>	
Rozměry H x Š x V (mm)	155 x 438 X 600
Váha netto (kg)	45,5
<b>ROZHRANÍ</b>	
Komunikační rozhraní	RS-232 / USB
Inteligentní port	Volitelné rozšiřující karty SNMP, Modbus a AS-400
<b>PROSTŘEDÍ</b>	
Vlhkost	0 - 90% relativní vlhkost (bez kondenzace)
Provozní teplota	-10 - 55°C
Výška	0 – 1000 m**

\* Tyto parametry jsou založeny na standardu VDE-4105 a mohou se lišit v závislosti na rozdílných AC napětích a požadavcích dané země.

\*\* Při výšce nad 1000m omezení výkonu 1% na každých 100m.

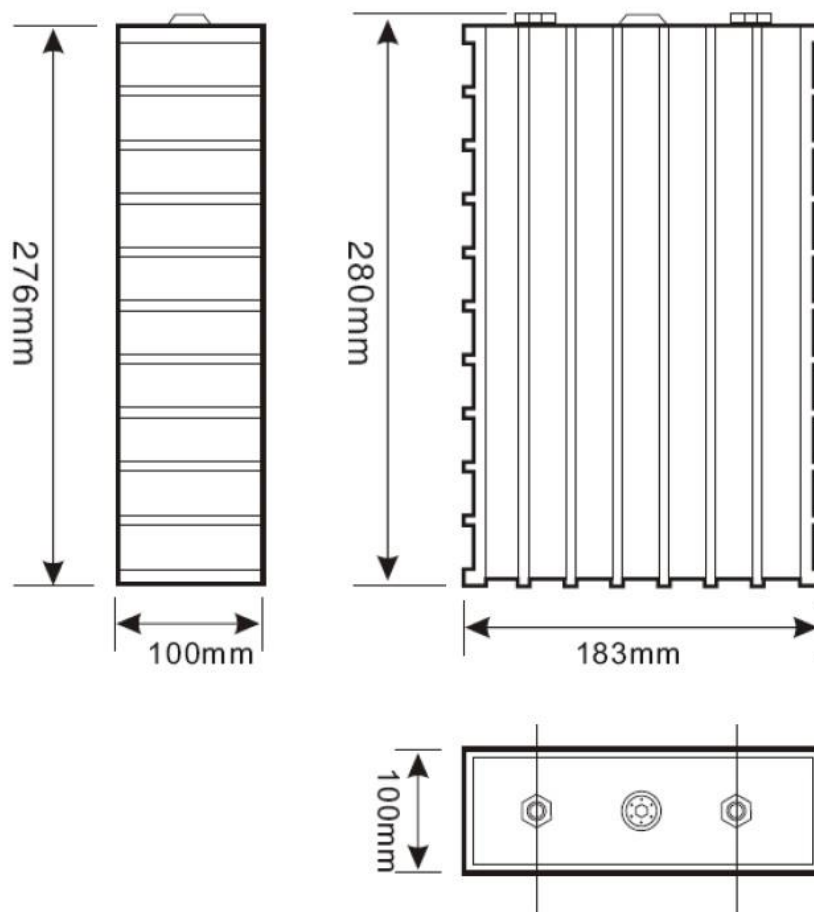
Specifikace produktu je předmětem možné změny bez předchozího upozornění.

## PŘÍLOHA C BATERIOVÝ ČLÁNEK

### LFP200AH – WB-LYP200AHA TALL



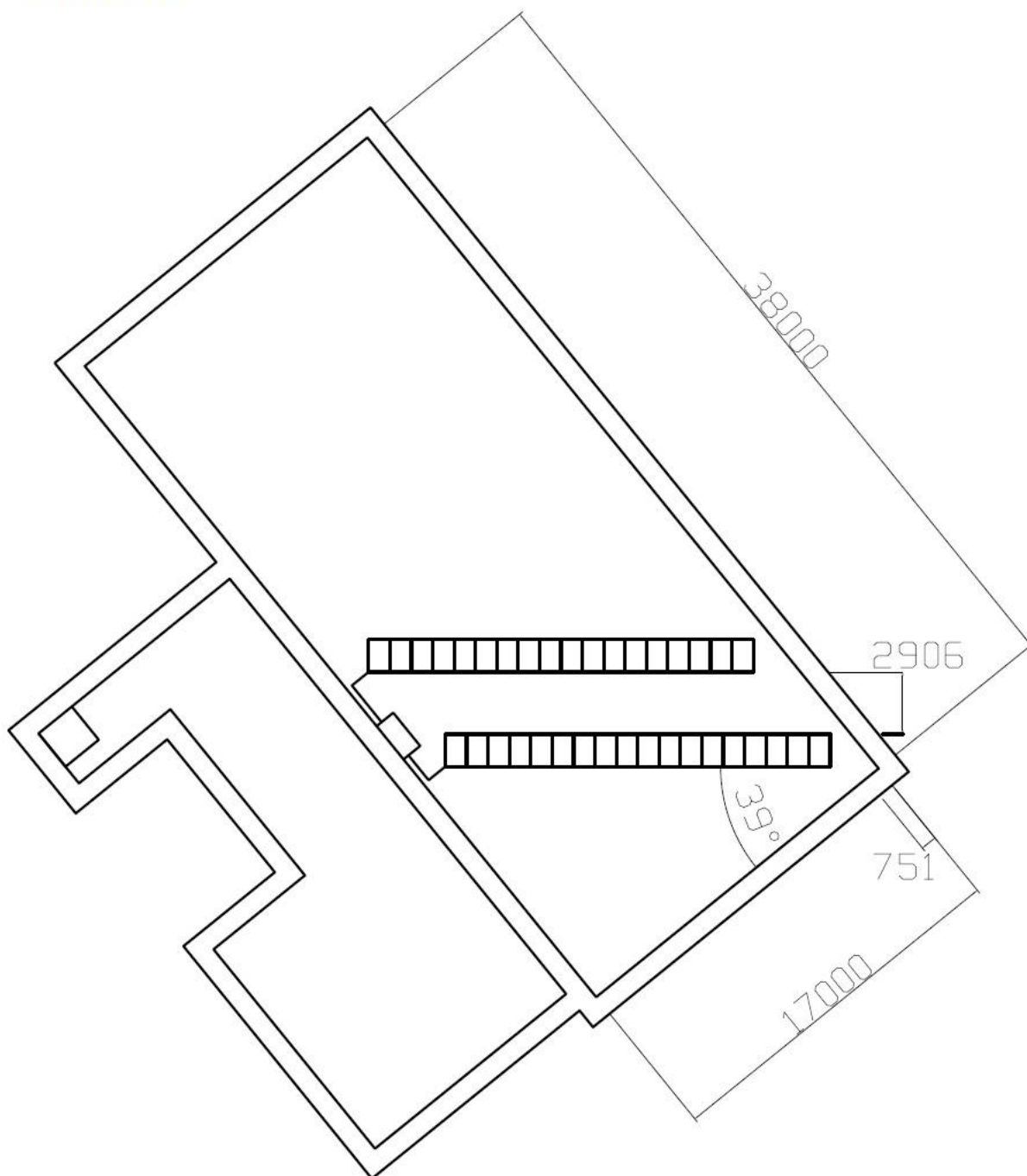
Model name	LFP200AHA-B (TALL)	Older marking TS-LFP200AHA-B, TS-LYP200AHA-B
Nominal voltage	3.2 V	Operating voltage under load is 3.0 V
Capacity	200 AH	+/- 5%
Operating voltage	max 4.0V - min 2.8V	At 80% DOD
Deep discharge voltage	2.5 V	The cells is damaged if voltage drops bellow this level
Maximal charge voltage	4.0 V	The cells is damaged if voltage exceeds this level
Optimal discharge current	< 100 A	0.5 C
Maximal discharge current	< 600 A	3 C, continuous for max 15 minutes from full charge
Max peak discharge current	< 4000 A	20 C, maximal 5 seconds in 1 minute
Optimal charge current	< 100 A	0.5 C
Maximal charge current	< 600 A	< 3 C with battery temperature monitoring
Maximal continuous operating temperature	80 °C	The battery temperature should not increase this level during charge and discharge
Dimensions	183x100x276 mm	Millimeters (tolerance +/- 2 mm)
Weight	7.7 kg	Kilograms (tolerance +/- 150g)



**PŘÍLOHA D SITUAČNÍ NÁKRES BUDOVY**

Rozměry uvedeny v mm.

Měřítko 1:200



## PŘÍLOHA E ZDROJOVÝ KÓD PROGRAMU

### V MATHEMATICCE

```
Manipulate[(x)/((y/100)*(z/1000)),
Style["Přibližný výpočet potřebné plochy pro FV panely",Bold,Large],
{{x,9,"Maximální instalovaný výkon [kWp]"},1,1000,1,Appearance->"Open"},
{{y,15.35,"Účinnost jednoho panelu [%]"},1,25,0.1,Appearance->"Open"},
{{z,1000,"Globální hodnota ozáření [W/m^2] "},400,1500,10,Appearance->"Open"},
Style["Teoretický výpočet plochy [m^2]",Bold,Medium]]
```

```
Manipulate[((a *(Sin[c Degree]))/(Tan[16.9 Degree])/1000),
Style["Minimální vzdálenost mezi další řadou panelů ",Bold,Large],
{{a,1645,"Výška panelu [mm]"},1,10000,1,Appearance->"Open"},
{{c,30,"Horizontální náklon panelů od roviny [°]"},0,90,1,Appearance->"Open"},
Style["Minimální vzdálenost další řady panelů [m]",Bold,Medium]]
```

```
Manipulate[((i*((j*m)/k))*1^2)*24,
Style["Výpočet ztrát na DC kabelech",Bold,Large],
{{i,0.0169,"Rezistivita materiálu [ohm*mm^2/m]"},0.0169,0.0267,0.0098,Appearance->"Open"},
{{j,1,"Počet vodičů ve svazku [-]"},0,6,1,Appearance->"Open"},
{{m,100,"Délka kabelu [m] "},1,1500,1,Appearance->"Open"},
{{k,6,"Průřez vodiče [mm^2]"},1,50,0.1,Appearance->"Open"},
{{l,8.71,"Maximální proud procházející vodičem [A] "},0.1,1000,0.01,Appearance->"Open"},
Style["Teoretický výpočet ztrát na vedení [Wh]",Bold,Medium]]
```

```
Manipulate[
If[(((d*1000)/(((e*1000)-(h*1000))*f*(g/100)))*100)>100,"Špatně zadáno",(((d*1000)/(((e*1000)-(h*1000))*f*(g/100)))*100)],
Style["Provozní výkonnost fotovoltaického systému ",Bold,Large],
{{d,8499,"celková vyrobená elektrická energie [kWh]"},1,10000,1,Appearance->"Open"},
{{e,1170,"Celková dopadající energie slunečního záření [kWh/m^2]"},1,10000,1,Appearance->"Open"},
{{f,59,"Celková plocha panelů [m^2]"},1,900,1,Appearance->"Open"},
{{g,15.35,"Účinnost panelů dle výrobce [%]"},0,30,0.1,Appearance->"Open"},
{{h,0,"Neinvertovatelná energie slunečního záření [kWh/m^2]"},0,20000,1,Appearance->"Open"},
Style["Provozní výkonnost FV systému [%]",Bold,Medium]]
```