

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

---

Fakulta elektrotechnická  
Katedra elektroenergetiky

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
Aplikace moderních fotovoltaických systémů

Autor práce: **Stanislav Šiman**  
Vedoucí práce: **Milan Bělík**

---

2024

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2023/2024

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Stanislav ŠIMAN
Osobní číslo:	E21N0002K
Studijní program:	N0714A060017 Aplikovaná elektrotechnika
Téma práce:	Aplikace moderních fotovoltaických systémů
Zadávací katedra:	Katedra elektroenergetiky

## Zásady pro vypracování

- Popište jednotlivé komponenty moderní fotovoltaické elektrárny a vysvětlete jejich funkci a účel.
- Zvolte modelový objekt, zhodnoťte jeho stávající vlastní spotřebu a možnosti její optimalizace s ohledem na využití solární energie.
- Navrhněte hybridní fotovoltaickou elektrárnu a porovnejte její provoz v režimu mikrozdroje a v případě standardního připojení.
- Doplňte navržený systém o domácí carport pro nabíjení elektromobilu a to včetně využití technologie VTG.

Rozsah diplomové práce: **40-60**  
Rozsah grafických prací:  
Forma zpracování diplomové práce: **elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Libra, Martin; Poušek, Vladislav: Fotovoltaika, Teorie i praxe využití solární energie. ILSA, Praha, 2009.
2. Matuška, Tomáš: Solární zařízení v příkladech. Grada, 2012, 2022.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Milan Bělik, Ph.D.**  
Katedra elektroenergetiky

Datum zadání diplomové práce: **6. října 2023**  
Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2024**



  
LS

Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.  
děkan



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

V Plzni dne 6. října 2023

## **Abstrakt**

V této diplomové práci se zabývám popisem jednotlivých komponentů moderní fotovoltaické elektrárny a vysvětlením jejich funkcí a účelů použití. Pro zvolený modelový objekt zhodnocuji jeho stávající vlastní spotřebu a možnosti její optimalizace, s ohledem na využití solární energie. Pro návrh hybridní fotovoltaické elektrárny porovnávám její provoz v režimu mikrozdroje v případě standardního připojení. Výsledná FV elektrárna je doplněna systémem domácího carportu pro nabíjení elektromobilu, a to včetně využití technologie VTG.

## **Klíčová slova**

Fotovoltaická elektrárna (FV), fotovoltaická energie, solární panel, solární článek, střídač, baterie, proud, napětí, energie, nabíjení, vybíjení

## **Abstrakt**

In this diploma thesis, I deal with description of the individual components of a modern photovoltaic power plant and the explanation of their functions and purposes. For the chosen model object, I evaluate its existing self-consumption and the possibilities of its optimization with regard to the use of solar energy. For the design of a hybrid photovoltaic power plant, I am comparing its operation in the microsource mode and in the case of a standard connection. After that, The resulting PV power plant is complemented by a home carport system for charging an electric car, including the use of VTG technology.

## **Key words**

Photovoltaic power plant, photovoltaic energy, solar panel, solar cell, inverter, battery, current, voltage, energy, charging, discharging

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval panu profesorovi Milanu Bělíkovi za odborné připomínky, rady a vedení v této diplomové práci. Rodině a přátelům děkuji za velkou trpělivost, pochopení a podporu.

# Obsah

Úvod .....	- 1 -
1 Přehled problematiky solární energie .....	- 2 -
1.1 Základní pojmy .....	- 2 -
1.2 Elektromagnetická energie ze Slunce.....	- 3 -
1.3 Možnosti využití dopadající solární energie .....	- 3 -
1.4 Údaje o dopadajícím záření na území ČR .....	- 4 -
2 Komponenty pro stavbu solárního generátoru .....	- 6 -
2.1 Solární panely založené na monokrystalických článcích.....	- 6 -
2.2 Solární panely založené na polykrystalických článcích.....	- 7 -
2.3 Solární panely založené na amorfních křemíkových článcích (a-Si).....	- 8 -
2.4 Solární panely založené na mikromorfních solárních článcích ( $\mu$ -Si A-Si).....	- 8 -
2.5 Solární panely založené na článcích CIS (Copper-Indium-diSelenid, dvojselenid mědi-india) .....	- 8 -
2.6 Solární panely založené na článcích na bázi teluridu kademnatého (cadmium telurid, CdTe) - 8 -	
2.7 Střídače.....	- 8 -
2.8 Baterie .....	- 12 -
2.9 Konstrukce a upevňovací materiál .....	- 13 -
2.10 Skříně a rozvaděče .....	- 13 -
2.11 Kabely a vedení.....	- 14 -
2.12 Hlavní vypínač stejnosměrného proudu .....	- 15 -
2.13 Proudový chránič (ochranný spínač chybového proudu).....	- 16 -
2.14 Bleskosvodná zařízení .....	- 16 -
2.15 Ochrana před přepětím .....	- 17 -
2.16 Elektroměry pro měření proudu .....	- 17 -
3 Modelový objekt .....	- 20 -
3.1 Vstupní ekonomické údaje .....	- 20 -

3.2	Způsob státní podpory FVE v ČR.....	- 21 -
3.3	Ekonomická návratnost.....	- 26 -
3.4	Doba životnosti elektrárny .....	- 27 -
3.5	Ekologie .....	- 27 -
3.6	Zobrazení výsledku simulací v programu PVsyst.....	- 29 -
4	FVE v režimu mikrozdroje.....	- 32 -
4.1	Definice fotovoltaické elektrárny v režimu mikrozdroje .....	- 32 -
4.2	Připojování nových výroben elektřiny – Ověřovací provoz .....	- 33 -
4.3	Žádost o připojení podle §4.....	- 33 -
5	Technologie VTG.....	- 38 -
	Závěr.....	- 39 -
	Literatura .....	- 40 -



## Seznam symbolů a zkratek

AM		Air Mass
FV		Fotovoltaická(é)
FVE		Fotovoltaická elektrárna
$U$	V	Napětí
$I$	A	Proud
MPP		Maximum Power Point
PC		Program Computer
DC	A	Stejnoseměrný proud
AC	A	Střídavý proud
$V_{mpp}$	V	Napětí v bodě maximálního výkonu
$I_{mpp}$	A	Proud v bodě maximálního výkonu
$P_{mpp}$	W	Výkon v bodě maximálního výkonu
Max. max.		Maximální
$V_{oc}$	V	Napětí naprázdno
$I_{sc}$	A	Zkratový proud
$I_n$	A	Jmenovitý proud
kVA		Tisíc voltampérů
$\mu\text{m}$		Mikrometr
THDi		Totální činitel zkreslení proudu
THDv		Totální činitel zkreslení napětí
Wifi		Bezdrátový přenos
EPDM		Materiál do vysokých teplot, odolný kyselinám i povětrnostním vlivům
ERU		Energetický regulační úřad
Kg		kilogramy
NN		nízké napětí
coll.		collektor

## Úvod

V dnešní době se při velmi rychle se rozvíjející energetické struktuře odběru elektrické energie dostávají do popředí obnovitelné zdroje energie. Mezi něž například patří vodní energie, větrná energie, energie na spalování biomasy a také solární energie. Pro příklad slouží nárůst instalované energie z fotovoltaických elektráren. Jen za rok 2022 byl výkon z připojených fotovoltaických elektráren 2,2 GW. Za první pololetí byl výkon z fotovoltaických elektráren 3 GW. Taktéž růst instalovaného výkonu od roku 2022 rostl pomalejším tempem, než počet připojených elektráren. To značí, že se více instalují elektrárny o menším výkonu pro rodinné domy, než elektrárny o větším výkonu pro velké firmy.

Na začátku této diplomové práce se zabývám přehledem problematiky solární energie. Přeměnou sluneční energie na elektrickou energii. Vhodnými podmínkami pro absorpci FV jevu. Možnostmi využití dopadající fotovoltaické energie dopadajícím na území České republiky.

Dále jsou popisovány komponenty tvořící FV elektrárnu od hromosvodového vybavení, kabeláže, střídače, FV panelů, konstrukce, jištění, baterií, skříní a rozvaděčů. Popisem technických parametrů, funkcí a účelům pro které jsou navrženy.

Dále je navržen modelový objekt, pro který se vyhodnocují vstupní údaje o spotřebě rodinného domu. Popisem možnosti udělení státní podpory. Zobrazením hodnot vyrobené fotovoltaické energie internetovou kalkulačkou v portálu PVGIS. Ekonomickou návratností fotovoltaické elektrárny. Uvažovanou dobou životnosti fotovoltaické elektrárny. Dopadem na životní prostředí při výrobě a recyklaci fotovoltaických panelů. A modelování fotovoltaické elektrárny v programu PVsyst.

V další části této práce se zabývám definicí fotovoltaické elektrárny v režimu mikrozdroje. Připojovacích podmínek. Žádostí o připojení FVE. Ověřovacím provozem. A návrhem fotovoltaické elektrárny.

V poslední části této práce je pojednáno o technologii VTG navrženou pro přenos energie z elektromobilu do sítě.

Uvedené výsledky této práce jsou shrnuty v závěru.

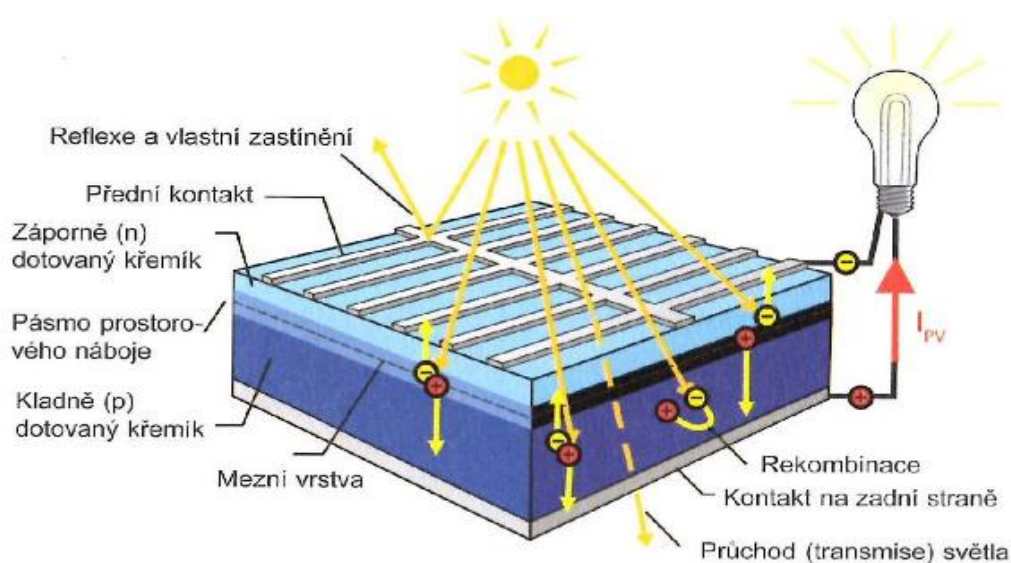
# 1 Přehled problematiky solární energie

## 1.1 Základní pojmy

Fotovoltaická elektrárna je tvořena z fotovoltaických panelů a ty se skládají z fotovoltaických článků.

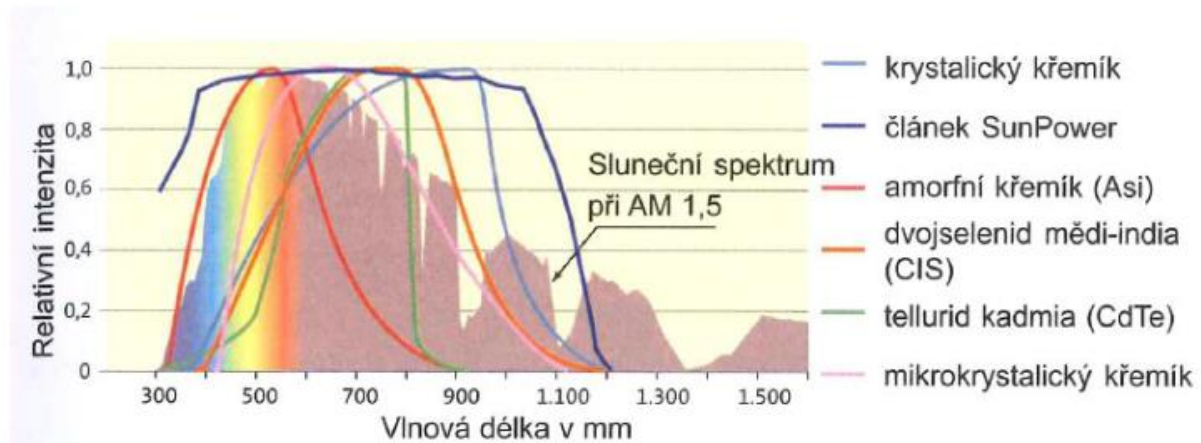
Fotovoltaika (photovoltaic) je složenina slov „photos“ (světlo) a „volt“ (jméno italského vědce Alessandra Volty).

Fotovoltaický článek je polovodičová součástka sloužící pro výrobu elektrické energie. Klasický krystalický solární článek se skládá ze dvou rozdílně dotovaných křemíkových vrstev. Strana obrácená ke slunečnímu světlu je záporně dotována fosforem, vrstva ležící pod ní je kladně dotována bórem. Aby bylo možné ze solárního článku odebírat proud, jsou na přední a zadní straně umístěny kovové elektrody jako kontakty. Na zadní straně je to většinou provedeno jako celoplošná elektroda. Naproti tomu přední strana musí co nejlépe propouštět světlo. Kontakty se zde většinou skládají z tenké mřížky, která zakrývá jen velmi malou část plochy povrchu článku. Na zadní straně je možné umístění celoplošné kontaktní vrstvy pomocí hliníkové nebo stříbrné pasty. Umístění elektrod se většinou provádí síťotiskem. Na povrchu článku by se světlo mělo co nejméně odrážet, aby se co nejvíce fotonů absorbovalo. Proto se na povrchu článku umísťuje antireflexní vrstva, která dává šedým křemíkovým článkům jejich typickou černou barvu u monokrystalických článků, popřípadě modrou barvu u polykrystalických článků [1].



Obr. 1 Konstrukce a přeměna energie v krystalickém křemíkovém solárním článku (Haselhuhn, 2010)

Průchod, transmise světla nejvíce nastává u dlouhovlnného a krátkovlnného záření.



Obr. 2 Sluneční spektrum a spektrální citlivost solárních článků (Haselhuhn, 2010)

Fotovoltaický panel je pak následně složen z těchto článků. Může jich být 36, 42, 60 nebo 72. Záleží na velikosti panelu.

Energie z FVE se posílá do měničů napětí, které se přes jistící prvky, to je zařízení chránící FVE proti úderu nebo přepětí v síti dále posílají do rozvodné sítě přes elektroměry a kabely dimenzované na střídavý proud.

Watt peak (Wp) je jednotka označující špičkový výkon fotovoltaického panelu (systému) za ideálních podmínek tzn. výkon panelu při standardním kondičním testu (intenzita záření 1000 W/m<sup>2</sup>, spektrální šířka AM 1,5, teplota článku 25 °C) [10].

## 1.2 Elektromagnetická energie ze Slunce

Energie ze slunce se skládá v důsledku jaderné fúze. Tj. slučováním jader vodíku za vzniku helia a dalších těžších prvků. Při této přeměně se uvolní energie, která je určena Einsteinovou rovnicí  $E = m \cdot c^2$ . Což znamená, že se každou vteřinou uvolní  $3,8 \cdot 10^{26}$  J energie. Ze slunce pak ubyde 4,26 miliónů tun hmoty.

Na hranici atmosféry Země je energie v blízkém kosmickém prostoru určena solární konstantou 1400 W/m<sup>2</sup>. Energie dopadající na povrch Země je v důsledku rozptylu, absorpce a odrazu elektromagnetického záření v atmosféře pouze 1000 W/m<sup>2</sup> při jasné obloze. V případě špatného stavu atmosféry, tj. například zatažená obloha tato hodnota dále klesá [4,5].

## 1.3 Možnosti využití dopadající solární energie

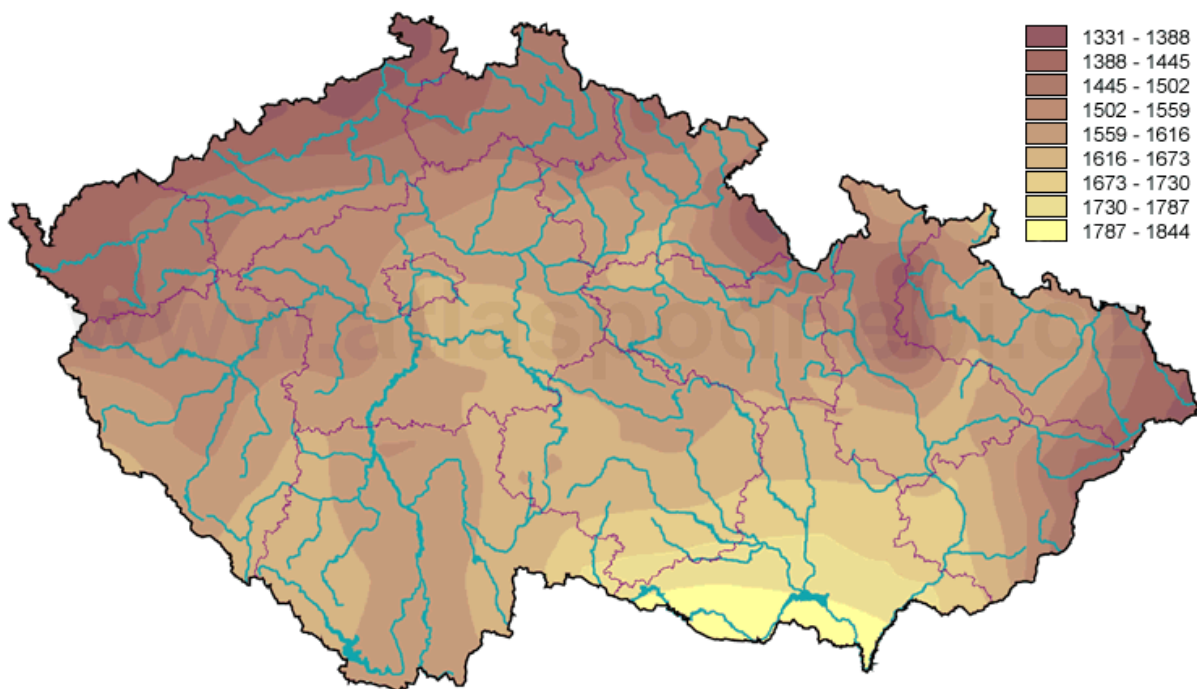
Solární energii lze využít jak pro ohřev vody, tak pro výrobu elektrické energie. Pro využití této energie musíme zvážit mnoho faktorů. Jestli se nám tato investice vyplatí z ekonomických

důvodů. Tzn. pořizovací cena FVE a celková vyrobená elektrická energie po dobu životnosti FVE.

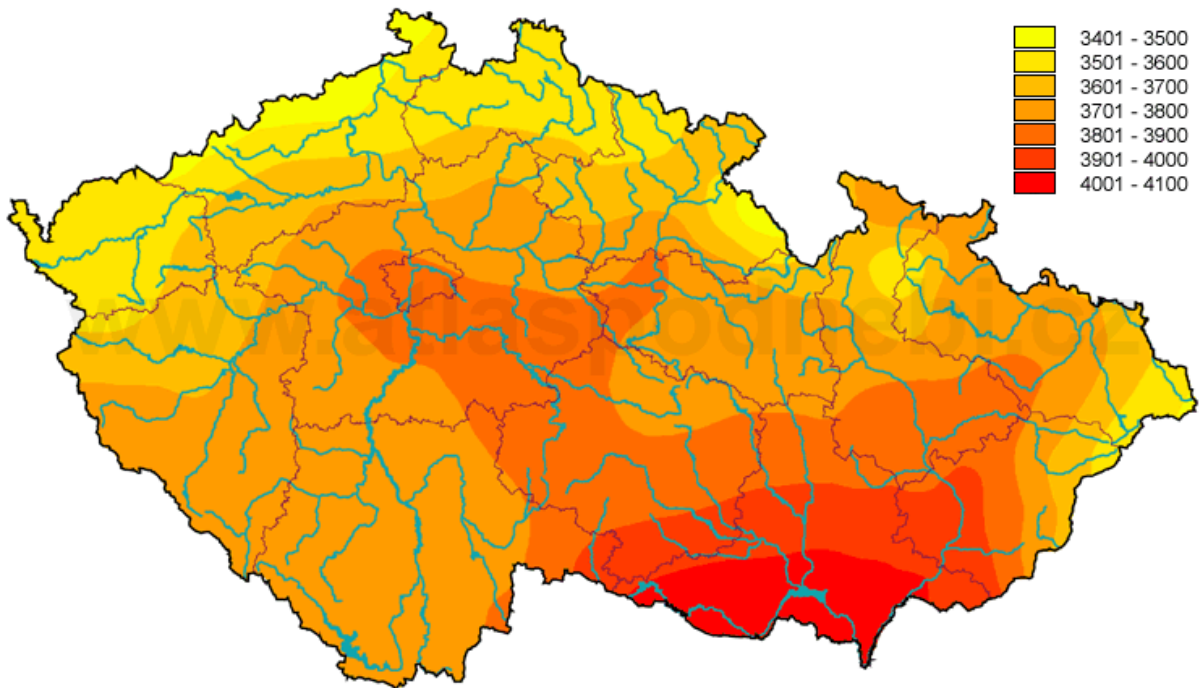
#### 1.4 Údaje o dopadajícím záření na území ČR

Sluneční záření dopadající na Zemi se většinou přemění na rozptýlené. Záření se rozděluje na přímé a rozptýlené. Rozptýlené záření dopadá na Zemi po celý rok i přes zataženou až oblačnou oblohu, a i to umí fotovoltaika využít. Přímé záření je nejvyšší v letních měsících, kdy je jasná obloha. Česká republika se nachází v mírném klimatickém pásmu, kde se díky oceánským a kontinentálním vlivům střídají roční období. Sluneční záření je ovlivňováno zeměpisnou polohou, nadmořskou výškou i čistotou ovzduší. Správnou orientací panelů ke slunci docílíme vysoké efektivity naší fotovoltaické elektrárny. Sluneční svit dopadá na solární panely po dobu 1600 (v horských oblastech) až 2000 hodin (jižní Morava) za rok. V letním období (duben – říjen) je získáno až 75 % celkové sluneční energie dopadající na naše území. Zbylých 25 % je pak získáno v období od října do dubna. Za rok je to 950–1340 kWh dopadající na m<sup>2</sup>.

Pro určení míry vhodnosti získávání sluneční energie existuje mapa slunečního svitu, která je sestavena z dlouhodobého systematického měření meteorologických stanic. Údaj o ročním úhrnu slunečního záření je stěžejní pro výpočet budoucí energetické bilance fotovoltaické elektrárny, a tudíž i k návratnosti investice [6].



Obr. 3 Průměrný roční úhrn doby trvání slunečního svitu [7]



Obr. 4 Průměrný roční úhrn globálního záření [MJ·m<sup>-2</sup>] [7]

Sluneční záření se skládá ze složek s rozdílnými vlnovými délkami. Krátké vlnové délky tvoří ultrafialové světlo, střední energeticky bohaté viditelné světlo a dlouhé vlnové délky infračervené světlo. Různé materiály článků mohou různé složky slunečního světla převádět na energii více či méně účinně. Následující obrázek ukazuje úplné sluneční spektrum při AM = 1,5 a spektrální citlivost různých materiálů solárních článků [1].

## 2 Komponenty pro stavbu solárního generátoru

### 2.1 Solární panely založené na monokrystalických článcích

Monokrystalické (= skládající se z jediného krystalu) křemíkové články jsou většinou čtvercové nebo čtvercové se zaoblenými rohy (semisquare). Délka hrany čtvercových článků je 10, 12,5 a 15 centimetrů. Jde o rozměry 4, 5 a 6 palců. Novější poločtvercové články mají délku hrany 15,2 cm a jsou často vybaveny třemi vodivými pásky. Jsou nabízeny i monokrystalické moduly se zaoblenými články s průměrem 6 palců. Příčinou jejich menšího rozšíření je neobvyklost použití zakulacených článků v pravoúhlých modulech a menší účinnost modulů v důsledku menšího využití plochy. V modulech pro integraci do budov, u kterých je žádoucí částečná průhlednost nebo určité vzhledové působení, nebo pro domácí solární systémy však oblé články představují naprosto vhodnou alternativu. Spotřeba materiálu u oblých článků je v důsledku způsobu výroby – články se řezou z kulatých tyčí – mnohem menší než u čtvercových článků. Aby se zvýšilo využití plochy a současně se snížila spotřeba materiálu, jsou nabízeny také šestihorné články. Jelikož se materiál článku skládá z jediného krystalu, je povrch článků homogenně tmavomodrý až černý. Elektrická kvalita monokrystalických solárních článků je velmi vysoká. Dosahují účinnosti přes 21 %, průměrná účinnost monokrystalických článků je 15 až 17 % [1].

#### Jasolar Panel JAM66S30 500Wp:

**Provedení:** monokrystal, počet buněk: 132 (6x22), max. výkon: 505W, nejvyšší účinnost: 21,5%,  $V_{mpp}$  38,35 V (STC),  $I_{mpp}$  13,04 A (STC),  $V_{oc}$  45,59 V (STC),  $I_{sc}$  13,93 A (STC) krytí IP68, přípojovací kabel (s konektorem): 1200 mm, konektor: MC4 EVO2/QC4.10-35, max. napětí systému: 1000 V/ 1500 V DC, provozní teplota: -40 ~ +85 °C, rozměry: 2093x1134x30 mm a hmotnost 26,3 kg.

Technické specifikace tohoto modulu převzato z [9].

#### LEAPTON SOLAR LP182\*182-M-54-MH

**Provedení:** monokrystal, počet buněk: 120 (60x2), max. výkon: 450W, nejvyšší účinnost: 20,97%,  $V_{mpp}$  34,70 V (STC),  $I_{mpp}$  12,96 A (STC),  $V_{oc}$  41,40 V (STC),  $I_{sc}$  13,68 A (STC) krytí IP68, konektor: MC4, max. napětí systému: 1000 V/ 1500 V DC, provozní teplota: -40 ~ +85 °C, rozměry: 1909x1134x30 mm a hmotnost 23 kg, rám je tvořen slitinou hliníku.

Článek HIT je vysoce výkonný solární článek vyvinutý japonskou firmou Sanyo s účinností 16,1 %. Článek HIT představuje tzv. hybridní článek, u kterého je monokrystalický plátek oboustranně opatřen vrstvou amorfního křemíku, čímž se dosahuje vysokých účinností článků – přes 20 %. Ve srovnání s klasickými krystalickými solárními články se článek HIT vyznačuje vyšším využitím energie při vysokých teplotách a využíváním širšího spektra záření [2].

Americká firma SunPower vyrábí vysoce výkonné solární články kompletně kontaktované na zadní straně s účinností přes 21 %.

## 2.2 Solární panely založené na polykrystalických článcích

Polykrystalické články lze snadno rozpoznat podle odlišně modře se třpytící krystalické struktury. Jsou čtvercové s délkou hrany 4, 5, 6 nebo 8 palců. Obvyklé účinnosti mezi 13 a 16 procenty [1].

### FV panel Amerisolar 285Wp:

**Elektrická specifikace STC** - (Intenzita záření  $800 \text{ W/m}^2$ , Teplota panelu  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , AM 1,5 m/s):  
 Výkon (Pmpp): 285 W, jmenovité napětí (Vmpp): 31,7 V, max. proud při zátěži (Impp) 7,27 A, napětí naprázdno (Voc): 35,7 V, zkratový proud (Isc): 7,63 A.

### **Provozní podmínky:**

Max. systémové napětí: 1000 V, pojistky pro sériové zapojení: 16 A, provozní teplota panelu:  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$  až  $85 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Elektrická specifikace NOCT** – (Intenzita záření  $800 \text{ W/m}^2$ , Teplota panelu  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , Rychlost větru  $1 \text{ m/s}$ ):

Výkon (Pmpp): 210 W, jmenovité napětí (Vmpp): 28,9 V, max. proud při zátěži (Impp) 9 A, napětí naprázdno (Voc): 38,7 V, zkratový proud (Isc): 9,42 A, účinnost ( $\eta$ ): 17,52 %.

### **Teplotní koeficienty:**

Nominální teplota článku (NOCT):  $45 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2\%$ , teplotní koeficient pro (Pmpp):  $-0,41 \text{ } \%/ \text{ }^\circ\text{C}$ , teplotní koeficient pro (Voc):  $-0,31 \text{ } \%/ \text{ }^\circ\text{C}$ , teplotní koeficient pro (Isc)  $0,05 \text{ } \%/ \text{ }^\circ\text{C}$ .

### **Mechanická specifikace:**

Typ článku: polykrystalický, počet článků v sérii: 60 (6x10), stupeň krytí IP67, 3 diody, konektory: MC4, délka kabelu: 900 mm, rám: eloxovaná hliníková slitina, rozměry: 1640x992x35 mm a hmotnost 18,5 kg.

Technické údaje převzaty z [13].



Tenkovrstvé články mají tloušťku článku 1 – 6  $\mu\text{m}$ . Mají mnoho skvělých vlastností. Mezi ně patří menší citlivost na teplotu a zastínění, flexibilita, lepší využití spektrální nabídky slunce, geometrická volnost, možná průhlednost materiálu. Mezi nevýhody patří zvýšené montážní a instalační náklady. Pro stejný výkon je nutná větší solární plocha a vyššími projekčními náklady.

### **2.3 Solární panely založené na amorfních křemíkových člancích (a-Si)**

Amorfní křemík netvoří pravidelnou krystalickou strukturu, nýbrž neuspořádanou síť. Nevýhodou amorfních článků je jejich malá účinnost, která v důsledku stárnutí vyvolaného světlem v prvních šesti až dvanácti měsících ještě klesá. Poté se drží na stabilní hodnotě. Používají se vícevrstvé články. Účinnost takovýchto článků může být okolo 10 %.

### **2.4 Solární panely založené na mikromorfních solárních člancích ( $\mu\text{-Si A-Si}$ )**

Mikromorfní solární články jsou kombinací mikrokrystalického a amorfního křemíku v tandemových člancích. Účinnost takovýchto solárních článků je 11 % a můžou lépe využívat sluneční spektrum. Jejich výhodou je také menší počáteční degradace.

### **2.5 Solární panely založené na člancích CIS (Copper-Indium-diSelenid, dvojselenid mědi-india)**

Technika CIS dosahuje v současné době nejvyšších účinností u tenkovrstvých technologií. Moduly CIS jsou tmavošedé až černé [1]. Nepodléhají degradaci vyvolaného světlem jako amorfní solární články. Jejich účinnost se pohybuje něco okolo 11 %.

### **2.6 Solární panely založené na člancích na bázi teluridu kademnatého (cadmium telurid, CdTe)**

Tmavězeleně se lesknoucí až černé solární články CdTe dosahují rovněž vyšší účinnosti než amorfní články [1]. Vyrábějí se vakuovou metodou. Účinnost modulu je 11 % a maximální systémové napětí 1000 V pro bezrámové moduly s dvojitým sklem.

### **2.7 Střídače**

Střídače umožňují propojení mezi solárním generátorem, sítí a zátěží. Převádí stejnosměrný proud vyrobený solárním generátorem na střídavý elektrický proud a přizpůsobuje jej velikosti napětí a frekvence sítě.

Pomocí moderní výkonové elektroniky probíhá převod na střídavý proud jen s malými ztrátami.

U FV zařízení napojených na síť je střídač přímo spojen s veřejnou sítí. Až do výkonu 5 kWp, popřípadě do plochy modulů cca 50 m<sup>2</sup> bývá většinou napojen na nízkonapěťovou síť (230 V) jednofázově. Větší FV zařízení napájají, pokud možno stejnosměrně všechny tři fáze sítě, většinou centrálním třífázovým měničem [1].

Ve střídači je též obsažen regulátor MPP. Ten ve střídači vyrovnává pracovní bod přizpůsobením napětí solárního generátoru. Navíc moderní střídače zachycují provozní data a mají displej a rozhraní na připojení s PC. Jsou tam zabudována různá stejnosměrná i střídavá ochranná zařízení, např. ochrana proti přepólování, přepětová ochrana a ochrana před přetížením, monitorování izolace a síťová ochranná zařízení. Střídače se dále rozdělují na střídače řízené sítí. Ty spínají stejnosměrný proud v taktu 50 Hz jedním nebo druhým směrem [1]. A samostatně řízené střídače. Ty se prosadily díky vysoké účinnosti a dobré síťové kvalitě. Podle konstrukce je možno střídače rozdělit na zařízení s nf transformátorem, s vf transformátorem, bez transformátoru a také se snižovacím měničem nebo zvyšovacím měničem. Nf síťový transformátor způsobuje značné ztráty výkonu. Zvyšuje konstrukční výšku, emise hluku, hmotnost a také náklady na zařízení. Vf transformátor je lehčí, menší a účinnější. Ty však vyžadují nákladnou výkonovou elektroniku. Střídače bez transformátoru mají mnoho výhod např. vyšší účinnost, menší hmotnost i konstrukční rozměry. Ovšem mají i mnoho nevýhod. Mezi ně patří nutné dodatečné ochranné zařízení – proudový chránič. Stínění dílů, průběžná instalace podle třídy ochrany II a o něco vyšší elektromagnetické vyzařování.

Třífázový hybridní měnič WS-WTS-10KW-3P, G3 wifi smart.

### **Parametry:**

Rozsah MPPT napětí: 200-950 V, spouštěcí napětí: 135 V, max. vstupní proud: 15 A, max. vstupní výkon: 16 kW, počet MPP sledovačů: 2, jmenovité výstupní napětí: 3L/N/PE, 220/380 V; 230/400V; 240/415V, max. výstupní proud: 15 A, max. nabíjecí výkon baterie: 9,6 kW, účinník 0,8,

Komunikace s BMS: CAN + RS485, komunikace s elektroměrem: RS485, komunikace s portálem: Wifi/Ethernet.

Rozměry a hmotnost: Délka: 418 mm. Šířka 534 mm. Hloubka: 210 mm. Hmotnost: 25 kg.

Možné další provedení těchto střídačů je možné ve verzi 3,6 kW 6 kW, 8 kW, 12 kW, 15 kW, 20 kW. [14]

Třífázový hybridní střídač napětí GoodWe ET Plus+ 3f 10 kW je standardně vybaven dvěma MPP trackery a umožňuje připojení vysokonapěťových baterií.

**Vstupní parametry z FVE:**

Rozsah MPPT napětí: 200-850 V, rozsah MPPT při plném zatížení: 240 ~ 850 V, spouštěcí napětí: 180 V, max. DC vstupní napětí 1000 V, jmenovité DC vstupní napětí: 650 V, max. vstupní proud: 12,5/12,5 A, max. zkratový proud: 15,2/15,2 A, max. vstupní výkon: 13 kW, počet MPPT regulátorů: 2, počet stringů na MPPT: 1/1, max. výstupní proud: 16.5 A,

**Specifikace baterie:**

Typ baterie: Li-ion, rozsah napětí baterie: 180 ~ 550 V, max. nabíjecí proud 25 A, max. vybíjecí proud 25 A, nabíjecí systém pro Li-ion: Auto adaptační s BMS.

Informace o AC výstupu (Síť):

**Jmenovitý AC výkon do rozvodné sítě:**

10 kVA, max. zdánlivý výstupní výkon do rozvodné sítě: 11 kVA, max. zdánlivý příkon z rozvodné sítě: 15 kVA, jmenovité výstupní napětí: 3L/N/PE, 400/380 V, jmenovitá výstupní frekvence: 50/60Hz, max. proudový výstup AC do rozvodné sítě: 16,5 A, max. příkon AC z rozvodné sítě 22,7 A, THDi: méně než 3%, účinník: 0,8 kapacitní – 0,8 induktivní, připojení k síti: třífázové.

**Informace o AC výstupu (Back -Up):**

Max. zdánlivý výstupní výkon: 10 kVA, špičkový zdánlivý výkon: 16,5 kVA, 60 sec., max, výstupní proud: 16,5 A, jmenovitý výstupní napětí: 400/380 V AC, jmenovitá výstupní frekvence: 50/60 Hz, THDv: méně než 3%.

**Ochrana:**

Ochrana proti FV přepólování, ostrovnímu režimu, výstupnímu přetížení, výstupním zkratům, bateriového vstupu a výstupnímu přepětí. Jednotka pro monitorování únikového proudu.

**Účinnost:**

Max. účinnost 98%, EURO účinnost: více než 97,5%, účinnost přizpůsobení MPPT regulátoru: 97%.

**Obecné informace:**

Rozměry a hmotnost: Délka: 415 mm. Šířka 415 mm. Hloubka: 160 mm. Hmotnost: 25 kg. Montáž: Držák pro upevnění na zeď. Možný provoz bez akumulátoru. Rozsah okolních teplot: -35 ~ 60 °C (více než 45 °C degraduje). Poměrná vlhkost: 0 ~ 95%. Krytí: IP65. Vlastní spotřeba: <15 W. Komunikace s portálem: Wifi. Je možno provedení i ve verzi 8 kW [15] .

Solax Power X3-HYBRID G4 (3f)

**Vstupní DC Parametry:**

Rozsah MPPT napětí: 180-950 V, spouštěcí napětí: 200 V, max. DC vstupní napětí 1000 V, jmenovité DC vstupní napětí: 630 V, max. vstupní proud: 26/14 A, max. zkratový proud: 30/16 A, max. vstupní výkon: 15 kW, počet MPPT regulátorů: 2, počet stringů na MPPT: 2(2/1)

**Vstupní AC Parametry:**

Max. zdánlivý AC výkon: 20 kVA, Max. AC proud: 32 A, Jmenovité napětí sítě: 415/240; 400/230; 380/220, Jmenovitá frekvence sítě: 50/60 Hz

**Výstupní AC Parametry:**

Jmenovitý AC výkon: 10kVA, Max. zdánlivý AC výkon: 11kVA, Jmenovité napětí sítě 415/240; 400/230; 380/220, Jmenovitá frekvence sítě: 50/60 Hz, Jmenovitý AC proud: 14,5 A, Max. AC proud: 16,1 A, THDi jmenovitý výkon: <3%

**Výstupní DC Parametry (Baterie):**

Typ baterie: Olověné baterie/Lithium, rozsah napětí baterie: 180 ~ 650 V, max. nabíjecí proud 30 A, max. vybíjecí proud 30 A, Komunikační rozhraní: CAN/RS485, Ochrana proti zpětnému připojení.

**Off-grid výstupní parametry (Baterie):**

Max. nepřetržitý zdánlivý výkon 10kVA, Jmenovité napětí: 400/230, Jmenovitá frekvence: 50/60 Hz, Max. nepřetržitý proud: 14,5 A, Špičkový zdánlivý výkon: 15KVA, Doba trvání: 60, Doba přechodu: <10ms, THDi, lineární zátěž: <3%.

**Účinnost:**

MPPT účinnost: 99,9%, Euro účinnost: 97,7%, Max. účinnost: 98%, Účinnost vybíjení/nabíjení baterie: 97,0/98,5.

**Spotřeba energie:** <20W pro horký pohotovostní režim, <3W pro studený pohotovostní režim.

Stupeň ochrany krytí: IP65, Provozní teplota: -35~+60°C, Hlučnost: 40dB, Výška, váha, hloubka – 482\*417\*181, Váha 30 kg, Chladicí koncept: přirozený, Topologie: neizolovaná, Komunikační rozhraní: Meter/CT, vnější kontrola RS485, Pocket series (optional), DRM, USB, LCD display Backlight 20\*4 character, Standardní životnost 10 let.

Jiní výrobci střídačů. EPEVER, SinusPRO, SofarSolar.

## 2.8 Baterie

Baterie sloužící k ukládání energie a bateriový řídicí systém k řízení nabíjení či vybíjení baterií.

### WATTSONIC G2 Modul bateriový 3,84kWh 76,8V LiFePO4

Hmotnost 34 kg, napětí 76.8 V, rozsah provozních teplot -20...+55 °C, kapacita (C100) 3840 Ah, určeno pro vnitřní použití, počet kompletních nabíjecích cyklů 10000, nominální kapacita baterie 3.84 kWh [22].

### WATTSONIC G2 Systém řídicí bateriový BMS 3,84 kWh s LCD

Bateriový řídicí systém BMS WATTSONIC BMS 3,84 kWh LCD display plní funkci přednabíjení, chrání proti podpětí, přepětí, nízké a vysoké teplotě, vyrovnává články, výpočet SOC-SOH [23].

Parametry:

Max. Nabíjecí/vybíjecí proud: 50A, doporučený nabíjecí/vybíjecí proud: 50A, komunikační protokol/typ konektoru: CAN/RS485 ModBus, TCP/IP/ RJ45, typ připojení napájení: Amphenol MC4, uživatelské rozhraní: LCD Display, rozměr pro 1 modul: 557 x 319 x 152,6 mm, hmotnost: 11 kg, rozsah vybíjecí teploty: -20...+55°C, krytí: IP21, způsob instalace: montáž na podlahu nebo na stěnu, životnost: 10 let [23].

### Baterie Triple Power T-BAT H 5.8

Jmenovité napětí: 115,2 V, Provozní napětí: 100-131 V, Typ baterie: Li-ion (LFP), Jmenovitá kapacita: 5,8 kWh, Použitelná kapacita: 5,2 kWh, Účinnost faradaického nabíjení 99%, Zpáteční účinnost baterie: 95%, Standardní výkon 2,9 kW, Max. výkon 4,0 kW, Doporučený nabíjecí/vybíjecí výkon 25 A, Max. nabíjecí/vybíjecí výkon 35 A, Životnost cyklů [90% DOD]: >6000 cyklů, Životnost: 10 let. Dostupný rozsah provozních teplot: 0-55 °C, Rozsah provozních teplot při plném zatížení: 5-48 °C, Vlhkost vzduchu: 4-100 (kondenzační), Stupeň ochrany krytí: IP55, Komunikace systému k měniči: CAN2.0, Baterie k Baterii/BMS: RS485, Port sběru dat / AKTUALIZACE FW: CAN2.0, Indikátor pracovního režimu hlavního ovládání: 1 LED, Indikátor kapacity hlavního ovládání: 4LED (25 %, 50 %, 75 %, 100 %), LED bateriového modulu: 2 LED, Reset: tlačítko, Zapnutí/vypnutí: Tlačítko\*1 + jistič\*1, Délka, výška, hloubka – 474\*193\*708, Váha: 72,2 kg.

Baterie Triple Power mohou být složitelné až do 4 modulů pro maximální kapacitu 23 kWh.

## 2.9 Konstrukce a upevňovací materiál

Pro upínací materiál se používají lišty, podložky, upínací svorky středové nebo koncové, šrouby imbusové, do dřeva nebo T šrouby. Pro tyto účely byl vynalezen systém s označením K2. Kde jednotlivé komponenty lze do sebe jistě, lehce a efektivně zakomponovávat.

Standardní materiál pro montážní systémy jsou hliník a ušlechtilá ocel nebo žárově pozinkovaná ocel. V oblastech s průmyslovým nebo mořským ovzduším (vlhký vzduch nebo vzduch obsahující soli nebo kyseliny) se nedoporučuje používat ocel. Při přímém dotyku s rámem modulu z hliníku může docházet ke kontaktní korozi – to platí i pro pozinkovanou ocel. Aby nedocházelo ke korozi, měly by se na místech styku mezi modulem, lištami a střešními háky, ale i při dotyku s jinými kovovými prvky na střeše (okapy, plechy atp.) používat jen kombinace materiálů, u kterých nehrozí nebezpečí elektrochemické reakce [1].

## 2.10 Skříně a rozvaděče

Jestliže se FV zařízení skládá z několika větví, jsou tyto větve svedeny dohromady v přípojovací skříně generátoru a propojeny s hlavním stejnosměrným vedením, které vede ke střídači. Přípojovací skříně generátoru obsahuje přípojovací svorky a oddělovací místa, popřípadě větvové pojistky a diody. Přípojovací skříně generátoru by měla být provedena v třídě ochrany II a mít jasné oddělení kladné a záporné strany uvnitř skříně. Při venkovní montáži by měla mít stupeň ochrany krytím IP 54 a měla by být odolná proti UV záření. U větších FV zařízení je často zapotřebí několik přípojovacích skříní [1].

Pojistky větví chrání vedení před přetížením v případě poruchy. Měly by být vhodné nejen pro stejnosměrný provoz, nýbrž speciálně pro měnící se provozní podmínky ve fotovoltaice. Od pojistek ve větvích je možno upustit, je-li FV zařízení provedeno v ochranné třídě II a jedná se o neuzemněný systém (neuzemněný kladný a záporný pól). Na základě zkušeností s nevhodnými větvovými pojistkami a s tím spojeným rizikem požáru by bylo vhodné se jejich použití vzdát nebo použít jen takové pojistky, které jsou výslovně vhodné k zvládnutí měnících se FV proudů [3].

Weidmüller Rozvaděč PVNDC2IN/1OUTX22MPPT SPD RCG DC spojovací pro fotovoltaiku  
1100 V

### Parametry:

Hloubka: 132 mm, výška: 228 mm, šířka: 200 mm, čistá hmotnost: 2000 g, okolní teplota: -25 °C...+50 °C, vlhkost: 5-90%, (bez kondenzace), jmenovité DC napětí: 1000 V DC, místo instalace: chráněná venkovní oblast (>1 km od moře), stupeň krytí IP 65.

Skříň ER212/NVP7P/63A/FV/ČEZ/EON DO VÝKLENKU

Elektroměrový vestavný rozvaděč pro fotovoltaiku, 1x dvousazbový, 3f, 63A, ČEZ/EON

**Parametry:**

Uspořádání rozvaděče: samostatný, uspořádání měřící soustavy: dvoutarifní třífázový, počet elektroměrů: 1, druh rozvaděče: elektroměrový pro přímé měření, pojistkový spodek: bez pojistkového spodku, materiálové provedení: termoset, konstrukční provedení: vestavná, způsob připojení přívodu: P – konstrukční svorka, průřez vodičů přívodu: 16 mm<sup>2</sup>, způsob připojení vývodu: P – konstrukční svorka, průřez vodičů vývodu: 16 mm<sup>2</sup>, uzavírání dveří: jednobodové se čtyřhranem 6x6 mm, jmenovitý proud: 63 A, jmenovité napětí: 230/400 V, stupeň krytí: IP44, jmenovitý kmitočet: 50Hz, výška: 640 mm, šířka: 470 mm, hloubka: 250 mm.

**2.11 Kabely a vedení**

Vedení mezi solárním generátorem, skříní nebo střídačem musí být položena tak, aby byla zajištěna před vzájemnými zkraty a zkraty se zemí. To se většinou provádí odděleným uložením kladného a záporného vedení s dvojitou izolací [1]. Vedení by neměla ležet na povrchu střechy, ale měla by být uložena v konstrukci systému a být uložena v zastíněném prostoru. Musí být zajištěna proti odírání a mechanickému poškození.

Připojovací vedení střídavého proudu propojuje střídač přes elektroměr a ochranná zařízení s rozvodnou sítí. Připojení na nízkonapěťovou síť (230 V) se u jednofázových střídačů provádí třípólovým vedením, u třífázových střídačů (400 V) pětípólovým vedením (kabely typu NYM, NYY nebo NYCW).

Solar kabel 6 H1Z2Z2-K černý – (H1-pocínovaná měď, Z2-zesítený elastomer)

**Výhody:** Omezení šíření plamene a tvorba toxických zplodin v případě požáru. Odolný proti mechanickému poškození, použitelný venku.

**Oblasti použití:** Zařízení PV se systémovým napájením DC do max. 1800 V. Pro kabeláž solárních modulů, propojení jednotlivých modulů do řetězců a ke střídačům, pro flexibilní použití nebo jako součást fotovoltaických instalací v budovách.

**Vlastnosti výrobku:** Odolný proti plameni dle IEC 60332-1-2. Odolný vůči povětrnostním vlivům/UV záření dle EN 50618, příloha E, odolný proti ozónu dle EN 50396. Vrubově houževnatý a odolný proti oděru bez halogenů dle IEC 60754-1. Korozivita zplodin hoření dle IEC 60754-2.

WEIDMÜLLER Konektor BUKO WM4 C BT samice

**WM4 C fotovoltaické konektory:**

- jeden krimpovaný kontakt pro kabely o tloušťce 4 mm<sup>2</sup> a 6 mm<sup>2</sup>
- schválení TÜV podle nejnovějšího znění normy DIN EN 50521
- lze napájet jmenovitým proudem do 35 A

**Rozměry a hmotnost:**

- čistá hmotnost: 1,8 g

WEIDMÜLLER Konektor SFKO WM4 C BT samec**WM4 C fotovoltaické konektory:**

- jeden krimpovaný kontakt pro kabely o tloušťce 4 mm<sup>2</sup> a 6 mm<sup>2</sup>
- schválení TÜV podle nejnovějšího znění normy DIN EN 50521
- lze napájet jmenovitým proudem do 35 A

**Rozměry a hmotnost:**

- čistá hmotnost: 1,3 g

**2.12 Hlavní vypínač stejnosměrného proudu**

Solární fotovoltaické napájecí systémy požadují mezi FV generátorem a střídačem hlavní vypínač stejnosměrného proudu, aby bylo možné v případě poruchy nebo při údržbě a opravách komponenty vzájemně oddělit [1]. Hlavní vypínač se zpravidla umísťuje mezi solární generátor a střídač. To je v případě vyšší bezpečnosti. Kvůli údržbě na FV zařízení.

Příklad FV vypínače:

Instalační vypínač, šířka 1 modul, 1 pól, 25A

Instalační modulární vypínače, Jmenovitý proud do 125 A, Jmenovité napětí 230 / 400 V AC, Jmenovitý krátkodobý výdržný proud  $I_{cw} = 12 \times I_e$ , 1 s, Splňují požadavky ČSN EN 60947-3, Zabudovaný mechanismus pro uzamčení v poloze vypnuto, 1 až 4pólové verze. Výrobce Noark.

Rozměry: Délka (mm) 89, Hloubka (mm) 15, Šířka (mm) 54.

Ochranný spínač vedení střídavého proudu.

Jedná se o nadproudové ochranné zařízení, které v případě přetížení nebo zkratu odděluje FV zařízení automaticky od elektrické sítě.



### 2.13 Proudový chránič (ochranný spínač chybového proudu)

Proudový (vypínač FI, „fičko“) sleduje protékající proud v přívodní a zpětné větvi elektrického obvodu. Proudový chránič zareaguje při chybě izolace nebo zkratu jednoho vodiče na zem nebo na kostru. U FV zřízení se střídači bez transformátoru se musí použít proudový chránič citlivý na střídavý i stejnosměrný proud (= typ B). Do střídačů bez transformátoru již často bývá integrován [1]. U zařízení s transformátorem se musí používat proudové chrániče typu A.

Možné příklady proudových chráničů:

Proudový chránič Typ B - Ev31-63-B je proudový chránič typu B (RCCB), který chrání před úrazem elektrickým proudem a zabraňuje vzniku škod na majetku. Zajišťuje vypnutí obvodu stejně jako proudový chránič typu A a navíc hlídá zbytkové proudy u DC složky, které mohou vznikat důsledkem přítomnosti usměrňovacích obvodů a vysokofrekvenčních AC jako zbytkové proudy [11].

**Technické specifikace:** Schopnost přepětového proudu s proudovým průběhem 8/20  $\mu$ s je 3 kA. Volitelná provozní poloha Ev31-63-B: krátkodobé vypnutí zpoždění. Počet pólů: 2P, 4P. Jmenovité napětí AC (V): 230/400. Jmenovitý proud (A): 25, 40, 63. Zkratová kapacita (kA): 10. Jmenovitá kapacita výroby a přerušení (A):  $10 \times I_n$ . Jmenovitá frekvence (Hz): 50. Jmenovitý zbytkový provozní proud (A): 0,03. Elektromechanická životnost (cykly): 4000. Utahovací moment (Nm): 2. Maximální průměr vodiče ( $\text{mm}^2$ ): 25. Pracovní teplota: - 25° až 50°C. Rozměry: 70 x 80 x 70 mm. Váha: 400 g. Proudový chránič má certifikát pro ochranu proti vlhkosti a prachu IP20 a po instalaci v rozvodné skříni IP40 [11].

Proudový chránič  $I_r=250\text{A}$ , typ A, 4-pól,  $I_{dn}=0.03\text{A}$ ,  $I_n=40\text{A}$  fotovoltaika

#### **Technické specifikace:**

Počet pólů: 4. Dimenzované napětí: 400 V. Dimenzovaný proud: 40 A. Jmenovitý reziduální proud: 0,03 A. Způsob montáže: DIN lišta. Typ svodového proudu: A. Selektivní typ: ne. Odolnost proti zkratu ( $I_{cw}$ ): 6 kA. Odolnost proti rázovému proudu: 0,25 kA. Frekvence: 50 Hz. Možnost vybavení doplňkovými zařízeními: ano. Krytí (IP): IP20. Šířka v počtech modulů: 4. Montážní hloubka: 69,5 mm. Typ s krátkodobým zpožděním: ne [12].

### 2.14 Bleskosvodná zařízení

FV zařízení umístěné na ploché střeše budov na nosné kostře s vysokým ohrožením bleskem musí být vybavena bleskosvodným zařízením. FV generátor jako vyčnívající nástavba totiž představuje možné místo úderu blesku.

Zařízení k ochraně před bleskem se zřizují v souladu s normami VDE 185-305, část 1 až 4. Je-li takové zařízení na budově již namontováno, musí se instalovaný FV generátor do koncepce této ochrany začlenit. Kromě toho je třeba dbát na dostatečnou vzdálenost od bleskosvodného vedení. Stejnosemenná vedení je třeba umísťovat co nejdál od bleskosvodu a zařízení k ochraně před bleskem, přičemž je třeba se vyhýbat křížení.

Součásti bleskosvodného zařízení jsou: Jímač, svodič a zemnič. Příkladem je zemničí drát AlMgSi 8 měkký (hliník). Zemničí deska ZD 02. Rozměry 100 x 50 cm. Drát AlMgSi 8 měkký s izolací. Drát Cu 7 měkký. Drát FeZn 10.

### 2.15 Ochrana před přepětím

V případě, že dojde v okruhu 1 km k úderu blesku mohou se vytvořit v elektrických vedeních přepětí. Do solárních modulů s kovovými rámy se indukuje o polovinu menší přepětí než do solárních modulů bez rámu. Oba vodiče (+a-) větve se pokládají co nejbližší k sobě, aby byla napětí modulů indukována ve vedeních co nejnižší.

U FV zařízení ohrožených bleskem se používají samostatné přepět'ové svodiče (bleskojistky) před a za střídačem a v připojovací skříni generátoru [1].

### 2.16 Elektroměry pro měření proudu

Většinou se solární proud dodává paralelním napojením do elektrické sítě. Je třeba používat elektroměry napájení bez blokování zpětného proudu nebo obousměrné elektroměry.

Je-li u FV zařízení do 30 kW zřízeno napájení vlastním solárním proudem, je třeba jako elektroměr vyrobeného solárního proudu použít jednosměrný elektroměr s blokováním zpětného proudu přímo za střídačem a obousměrný elektroměr pro dodávku a odběr v domovní rozvodné skříni [1].

Zařízení pro měření odběru proudu:

SOLAR CONTROLS Regulátor WATTROUTER ECO s měřícím modulem

#### **Parametry:**

Proudový měřicí rozsah : 0 – 20A, Proudová zatížitelnost měřicího modulu: 0 – 40A, Vzdálenost regulátoru a polovodičového relé: <10 m, Pracovní poloha: libovolná, Upevnění Regulátor: DIN 35mm, Elektrická pevnost: 4 kV/1 min, Stupeň znečištění: 2, Teplotní rozsah provozu: -20 °C až +40 °C, Teplotní rozsah skladování: -40°C až +80 °C, Jištění: B6A, Krytí: IP20, Rozměry: 70x110x64, Hmotnost regulátoru: 350 g, Baterie pro zálohování reálného času:

CR2032 lithium, Napájecí napětí: 230V, 50 Hz, Spotřeba elektrické energie: režim stand-by < 3VA, Spotřeba elektrické energie: 1 reléový výstup 0,4 W, Proudový měřicí rozsah: 0-20 A ( $\pm 5\%$ ), 50 Hz ( $\pm 5\%$ ), Napěťový měřicí rozsah: 230 V ( $\pm 5\%$ ), 50 Hz ( $\pm 5\%$ ), Proudová zatížitelnost měřicího modulu: 0-40 A ( $\pm 5\%$ ), 50 Hz ( $\pm 5\%$ ), Přesnost měření činného výkonu:  $5\% \pm 0,05$  kW [16].

WATTSONIC Smart meter WTS-DC120-C2000A s cívkami  $\varnothing$  120 mm

Integruje měření všech parametrů napájení (jako je jednofázový nebo třífázový proud, napětí, činný výkon, jalový výkon, zdánlivý výkon, frekvence, účinník atd.), vícesazbové měření elektrické energie, čtyřkvadrantové měření elektrické energie, harmonickou analýzu a řízení monitorování a vyhodnocování výkonu.

**Parametry:**

Sít' 3-fázová 3-vodičová, 3-fázová 4-vodičová. Frekvence: 45 – 65 Hz.

**Vstup:**

Jmenovité napětí: AC 57,7V/100V(100V), 220/380V(400V). Vstupní proud: 2000A, Přetížení: 1,2 násobné hodnocení (nepřetržitě), 2 násobné hodnocení/1 sekunda. Spotřeba: <0,2 VA. Přetížení: 1,2 násobné hodnocení (nepřetržitě), 10 násobné hodnocení/1 sekunda.

**Výstup:**

Výstupní režim: Pulzní fotočlen s otevřeným kolektorem, obousměrný výstup. Třífázová Pulsní konstanta: 4000, 8000 imp/kWh. Komunikace: Rozhraní RS485, protokol Modbus-RTU. Display: LCD.

Informace o WATTSONIC Smart meter WTS-DC120-C2000A s cívkami  $\varnothing$  120 mm čerpáno z [17].

Elektroměr MANELER 9905M, přímé měření 10-100A, neověřený

- elektroměr vhodný pro fotovoltaické systémy
- třífázový přímý elektroměr, jednosazbový
- montáž na DIN lištu
- analogový ukazatel
- proudový rozsah 10 - 100 A
- vlastní příkon 2W
- třída přesnosti 1
- montáž na lištu DIN

- velikost 7 modulů (125mm)
- impulsní výstup SO+LED 800 imp./kWh
- zpětná brzda: ne

### 3 Modelový objekt

#### 3.1 Vstupní ekonomické údaje

Při návrhu modelového objektu byl navržen nízkoenergetický rodinný dům s čtyřčlennou rodinou o ploše objektu 150 m<sup>2</sup> a garáž o rozloze 30 m<sup>2</sup>. Spotřebiče mi v této domácnosti jsou bojler, elektrické vytápění, pračka, žehlička, myčka, sušička, stolní počítač, televize, lednička a mobilní telefony. Celková spotřeba domácnosti 4,5 MWh. Výroba elektřiny z FVE 5,8 MWh. Spotřebováno z FVE 3,1 MWh. Dodáno do sítě 2,7 MWh. Spotřeba elektrické energie v jednotlivých měsících viz. Tab. 1.

Tab. 1 Množství spotřebované energie v kWh/měsíc

Měsíc	Spotřeba kWh	Měsíc	Spotřeba kWh
Leden	475	Červenec	320
Únor	430	Srpen	300
Březen	350	Září	335
Duben	345	Říjen	410
Květen	330	Listopad	420
Červen	320	Prosinec	465

Pro vstupní investice je zapotřebí počítat s mnoha údaji.

- 1) Investiční náklady – ty zahrnují nákup střešních FV panelů, střídače, kotevního materiálu, solárních kabelů, baterie, stavební úpravy, elektrickou přípojku a také potřebné reinvestice, které jsou zapotřebí při dosluhující technice.
- 2) Doba životnosti – doba po kterou bude zařízení pracovat. Popřípadě snížení výkonu elektrárny, která je dána výrobcem.
- 3) Provozní výdaje – jsou to výdaje vydané na údržbu majetku, jeho pojištění, předpokládané opravy, obsluha zařízení.

- 4) Množství vyrobené roční produkce energie – efektivní zhodnocení vyrobené elektřiny. Zdali je elektřina použita na chod domácnosti, popřípadě její prodej, nebo ukládání do virtuální baterie.
- 5) Způsob financování – jeli poskytnut úvěr, financování vlastními prostředky nebo je poskytnuta dotace.
- 6) Daňové zatížení – jedná se zejména o daň z příjmů u investora, případně také v budoucnu zavedení tzv. „ekologických daní“ [7].

### 3.2 Způsob státní podpory FVE v ČR

Ministerstvo životního prostředí vypsalo dotační program nová zelená úsporám. V rámci něj lze získat dotace na pořízení solárního termického systému nebo fotovoltaického systému. Výše dotace v případě nové zelené úsporám limituje pouze výkon, nikoli velikost solární elektrárny. Na svoji střechu tedy můžeme instalovat neomezený počet solárních panelů. Proto, aby se nám vyplatila dotace z nová zelená úsporám je navržena elektrárna o výkon 6,3 kW.

Možné dotace pro program nová zelená úsporám:

- Dotace až 200 000 Kč za instalaci fotovoltaiky v kombinaci se zateplením se započtením bonusů ve výši 40 000 Kč
- Dotace až 160 000 Kč za instalaci fotovoltaiky bez zateplení
- Dotace až 125 000 Kč na tepelné čerpadlo s ohřevem vody připojené na fotovoltaiku
- Omezení maximálního rezervovaného výkonu pro připojení do sítě na 50 % maximálního výkonu FVE
- Nově bonus za FVE, která zajistí ohřev vody, ve výši 10 000 Kč
- Změna jednotkové výše dotace na FVE:
  - základní podpora 35 000 Kč nebo 60 000 Kč s využitím tepelného čerpadla
  - za 1 kWp instalovaného výkonu 8 000 Kč
  - za 1 kWh el. akumulčního systému 8 000 Kč

Potřebné údaje byly čerpány z [18].

Dotované ceny a zelené bonusy byly tak lákavé, že se staly cílem masového solárního byznysu. Zákonodárci proto přijali nový zákon o podporovaných zdrojích (č. 165/2012 Sb.) a od roku 2014 novým investorům návratnost nezaručují. Při novější fotovoltaike, výrobní přebytky proudí do distribuční soustavy buď zadarmo nebo za tržní cenu.

Při možnosti optimalizace využití elektrické energie tohoto objektu byla navržena fotovoltaická elektrárna s umístěním fotovoltaických panelů LEAPTON SOLAR 450 Wp směrem na jih a sklonu střechy 30°. Na střechu RD - (rodinného domu) o rozměrech 11x7 m bylo dáno 8 panelů. Každý o rozměrech 1909 x 1134 x 30 mm. Dále bylo 6 panelů umístěno také na střechu garáže. Celkem o výkonu 6300 Wp. Možné ztráty ve vedení, střídači a jiných komponent 300 W. Jako měnič byl zvolen Solax X3-Hybrid G4. Počet stringů 2. Bezplatný monitorovací systém elektrárny (výkon FVE a stav baterií) pomocí Wi-fi. Měnič je možno nastavit jako bez přetokový. Pro spojení FV panelů byl použit Solar kabel 4 mm<sup>2</sup>. Baterie byly použity od firmy Triple Power T-BAT H 5.8.

Pro výpočet výroby elektrické energie byly použity hodnoty průměrné měsíční doby slunečního svitu ve vybraných lokalitách ČR. Viz Tab. 2.

Tab. 2 Průměrné měsíční doby slunečního svitu ve vybraných lokalitách

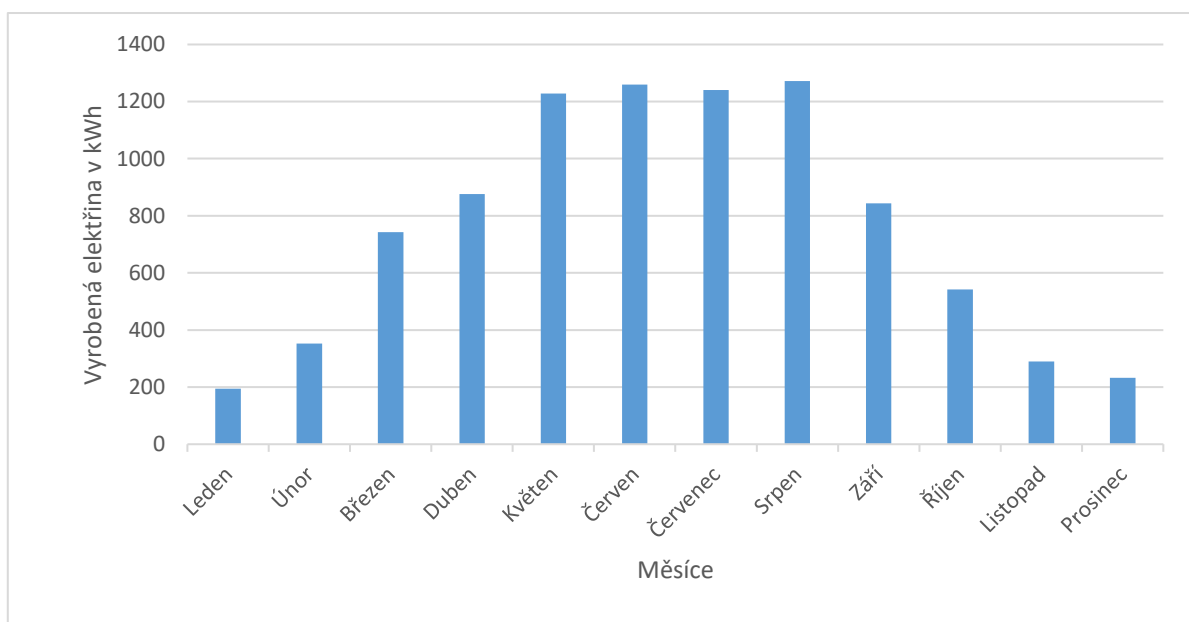
Měsíc / počet hodin v měsíci											
31	56	118	139	195	200	197	202	134	86	46	37

Pro výpočet měsíční výroby FVE viz. Tab. 3 je použit údaj z Tab. 2 vynásoben údajem 6,3 kWp. Příklad z rovnice (1.1) je pro měsíc leden. Jedná se o hrubý odhad.

$$(31 * 6,3) = 195 \text{ kWh} \quad (1.1)$$

Tab. 3 Denní výroba fotovoltaických panelů po jednotlivých měsících.

Měsíc	Výroba kWh	Měsíc	Výroba kWh
Leden	195	Červenec	1241
Únor	352	Srpen	1272
Březen	743	Září	844
Duben	876	Říjen	542
Květen	1228	Listopad	290
Červen	1260	Prosinec	233



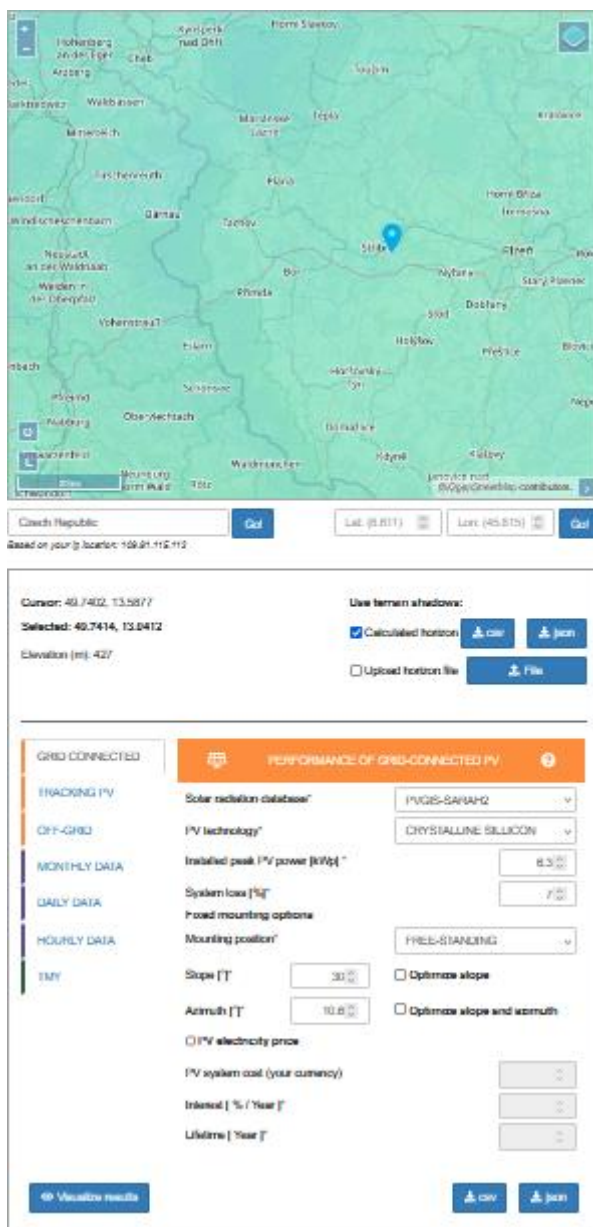
Obr. 5 Měsíční vyrobená elektřina v kWh vypočítaná podle počtu slunečních dní v měsíci

Pro lepší upřesnění výpočtů množství vyrobené elektřiny je použita internetová kalkulačka.

Po zadání vstupních údajů lze vypočítat orientační roční příjem vyrobené elektrické energie.

Jedná se o zlehčení výpočtu doby návratnosti elektrické energie. Jako základní údaje se udávají místo, poloha umístění budovy, z jakého materiálu je solární panel vyrobený instalovaný výkon FVE v kW<sub>p</sub>, ztráty, se kterými se počítá při chodu FVE. Sklon úhlu střechy a azimut. Podrobné údaje o zvolení místa a daných parametrech objektu viz. Obr.2.





Obr. 6 Kalkulačka teoretického výkonu – rozhraní pro zadávání vstupních parametrů

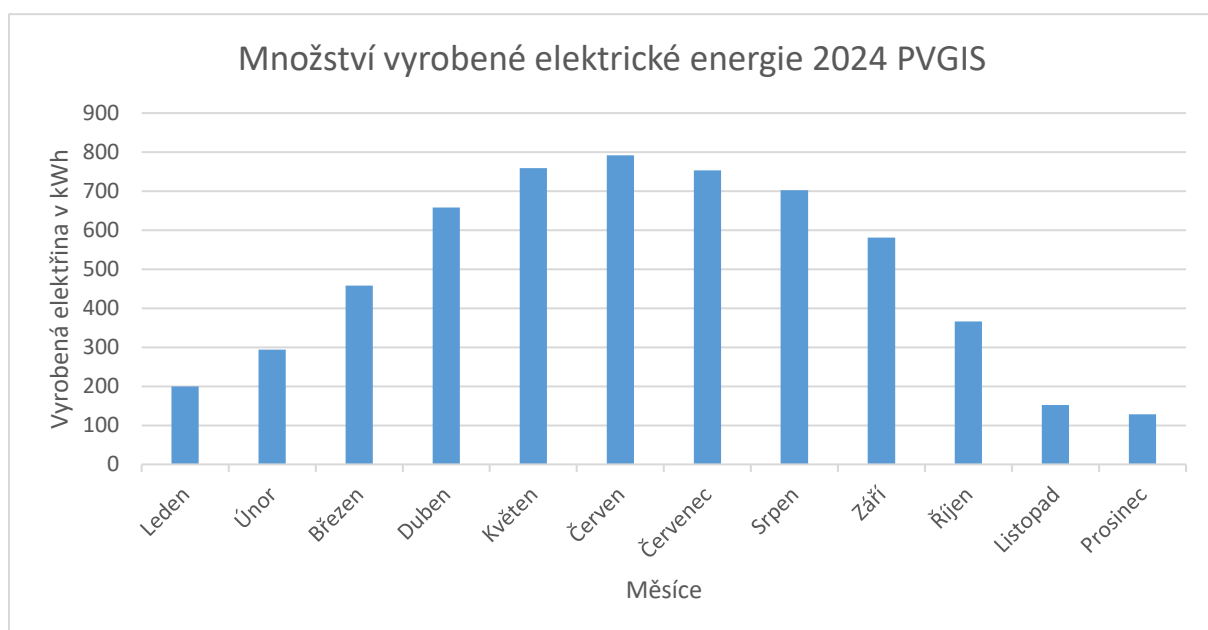
Pro lepší využití se v případě rovné střechy může použít dvouosý tracker.

Tab. 4 Výroba elektrické energie bez použití a s použitím dvouosého trackeru podle internetové kalkulačky

Měsíc	Výroba kWh/měsíc Bez / s použitím dvouosého trackeru	Měsíc	Výroba kWh/měsíc Bez / s použitím dvouosého trackeru
Leden	200/265	Červenec	753/992

Únor	294/390	Srpen	702/924
Březen	458/606	Září	581/765
Duben	658/865	Říjen	366/483
Květen	759/995	Listopad	152/203
Červen	792/1042	Prosinec	128/168

V této kalkulačce je zohledněna lokalita daného objektu, uvážení ztrát systému 14 % a sklon střechy 30°. V případě použití dvouosého trackeru lze získat až o 20 % více energie nežli bez něho.



Obr. 7 Měsíční vyrobená elektřina určená podle internetové kalkulačky bez použití dvouosého trackeru

Tab. 5 Porovnání množství spotřebované mínus vyrobené energie v jednotlivých měsících

Měsíc	Rozdíl kWh/měsíc	Měsíc	Rozdíl kWh/měsíc
Leden	280	Červenec	-433
Únor	136	Srpen	-402
Březen	-108	Září	-246
Duben	-313	Říjen	44

Květen	-439	Listopad	268
Červen	-472	Prosinec	342

Z uvedené Tab. 5 je zřejmé, že pro období leden, únor, říjen, listopad a prosinec je zapotřebí odebírat elektrickou energii ze sítě. Naopak pro jiná období, kdy je slunečního svitu nejvíce je vyrobené elektřiny více než spotřebované. Tato elektřina se dá dále ukládat do baterie nebo dodávat do distribuční sítě, resp. prodávat.

### 3.3 Ekonomická návratnost

Pro zhodnocení námi zvolené investice je zapotřebí znát

- celkovou výši investice
- množství vyrobené energie v kWh
- výkupní cenu

Tab. 6 Hodnoty pro solární elektrárnu 6,3kWp

Pořizovací cena elektrárny	261 000 Kč			
Dotace	170 000 Kč			
Cena elektrárny s dodavatelem	431 000			
	Dnes	4% růst	6% růst	8% růst
Celkové náklady na energii	44 625	59 529	67 071	80 771
Celkové úspory	25 608	34 161	37 131	44 046
Nová platba za energii	19 017	25 368	29 939	36 725
Zůstatek	25 608	34 161	37 131	44 046
Návratnost investice	10,2 roků	7,6 roků	7,0 roků	5,9 roků

Elektřinu vykupují různé společnosti, které mají rozdílné podmínky. Některé vyplácejí pevnou výkupní cenu. Jiné nabízejí slevu na energii, kterou sami z distribuční soustavy odebereme. Další vykupují elektřinu za aktuální spotové ceny. Ve výrobní špičce ovšem může být spot záporný, mohli bychom za svoje přetoky dokonce i zaplatit. Pevné tržní ceny sahají od 1100 až po 2000 Kč/MWh. Spotový trh kolísá od -50 po +21 250 €/MWh [19]. Při vykupování elektřiny

na spot je důležité mít na paměti mít uzavřenou smlouvu na minimální výkupní cenu rovnou nule. Jinak za svoje přetoky zaplatíme až by velkoobchodní ceny burz klesli do mínusu. Přitom distributor může ještě po výrobcích požadovat poplatek za výkup elektřiny. Může to být buď v měsíčních splátkách nebo určitá cena za 1MWh.

Tab. 7 Hodnoty pro solární elektrárnu 9,7kWp

Pořizovací cena elektrárny	309 000 Kč			
Dotace	0 Kč			
Cena elektrárny s dodavatelem	454 000			
	Dnes	4% růst	6% růst	8% růst
Celkové náklady na energie	44 625	59 529	67 071	80 771
Celkové úspory	34 695	46 284	50 308	59 676
Nová platba za energie	9 929	13 246	16 762	21 094
Zůstatek	34 695	46 284	50 308	59 676
Návratnost investice	13,8 roků	10,3 roků	9,5 roků	8,0 roků

V případě solární elektrárny 9,7kWp nemá žadatel nárok na dotaci. Spotřeba z FVE by byla 3,3MWh.

### 3.4 Doba životnosti elektrárny

Doba životnosti elektrárny je omezená hlavně životností jejích fotovoltaických článků. Technická životnost se udává mezi 30 až 35 lety. Postupem času vlivem degeneračních procesů v článku jeho výkonnost klesá. Garantovaný výkon článků v čase je udáván jednotlivými výrobci. Ve většině případů se pohybuje garantovaný výkon článků na 90% po dobu 12 let a 80% po 20 letech. Životnost měničů je posuzována z hlediska záruky výrobců. Zpravidla se pohybují na hranici 5 let s možností rozšíření na 10 a více [2;8].

### 3.5 Ekologie

S každým vyrobeným panelem též souvisí otázka recyklace. Recyklace v těchto podmínkách je snadná, ale má svá pravidla. Ne vždy je tomu tak. Například recyklace fotovoltaických panelů s křemíkem je odlišná od fotovoltaických panelů bez něj. Recyklace FV panelů bez křemíku se dá recyklovat tepelným procesem. Naopak FV panely na bázi křemíku se musí nejdřív

mechanicky nebo manuálně rozebrat. To obnáší odstranění jednotlivých komponentů a jejich následné znovu využití nebo rozdrčení.

Energeticky velmi náročná je například výroba křemíku, srdce většiny panelů. Hornina se většinou musí tavit při teplotě kolem 1 650 °C v indukčních pecích. A elektrina na jejich provoz stále z větší míry pochází z uhelných elektráren. Další energie spolkně doprava a instalace panelů [20].

Průmyslová výroba solárních panelů zatěžuje životní prostředí, nejde ale o nic dramatického. Jde o běžnou průmyslovou výrobu, která vyžaduje energii a jejíž dopady na okolní životní prostředí jsou hlídány a minimalizovány. Nové postupy výroby panelů už navíc na rozdíl od minulosti nevyžadují velké množství chloru. Technologie výroby fotovoltaických panelů pokročily natolik, že panely jsou už téměř úplně **recyklovatelné**. To znamená, že tolik nezatěžují životní prostředí, navíc mají stále **větší účinnost a dlouhověkost**, která může být i 50 let. Většina fotovoltaických panelů se vyrábí v Číně, očekává se ale opětovný nárůst výroby v Evropě. Ekologicky šetrná výroba fotovoltaických panelů by se měla v blízké budoucnosti rozběhnout například v Německu [21].

Největší zastoupení materiálu ve fotovoltaickém panelu má sklo (60–70 % váhy). Jeho recyklace je nejjednodušší. Snižuje nároky na těžbu surovin a nezatěžuje kapacitu skládek [21].

20 % objemu tvoří hliník, hlavně v případě rámu. Také on se lehce recykluje [21].

Další hmotou je plast, který nahrazuje skleněné části. Většinou se musí spálit [21].

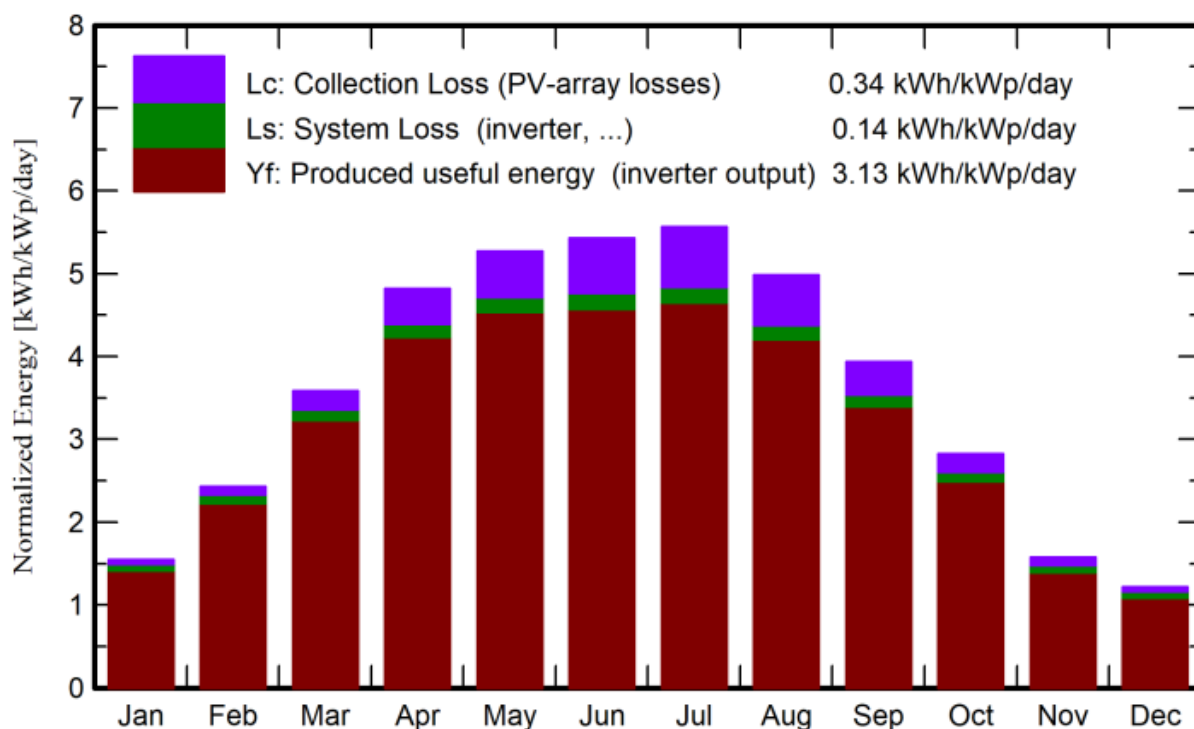
Fotovoltaické články jsou polovodiče, které jsou náročné na výrobu, ale dají se recyklovat. Zpracovatelská firma panely rozebere a mechanicky nebo chemicky oddělí použité kovy a další prvky pro následné zpracování [21].

Těžké kovy jsou toxickým odpadem, který nesmí uniknout do životního prostředí, tvoří ale minimální položku fotovoltaického panelu. I těžké kovy je ale možné znovu využít v průmyslu, nebo se bezpečně uskladní [21].

### 3.6 Zobrazení výsledku simulací v programu PVsyst

PVsyst je program zaměřený na výuku a simulaci fotovoltaických elektráren. Je v něm zakomponováno mnoho nástrojů pro práci s FVE. Program se zabývá střešními FV elektrárnami na střechách rodinných domů a velkých průmyslových hal. Hlavním cílem je výpočet chování FV systému během roku. Výroba elektřiny a její ztráty. A také možnost rentability systému. Program PVsyst obsahuje velké množství komponent, ze kterého je možné FV sestavit. Pokaždě se některý z komponentů nenachází v databázi je možno ho pomocí specifikačního listu vytvořit.

Pro následné zobrazení výkonů a ztrát FVE výsledky znázorněny na Obr. 8 podle normy IEC 61724.



Obr. 8 Normalizovaná výroba na kWp instalovaného výkonu

V horní části každého sloupce je výtěžek referenčního systému, který se v normě nazývá Yr. To představuje energii, která by byla produkována, kdyby systém vždy vyráběl s nominální účinností za standardních testovacích podmínek. To je ekvivalentní hodnotě GlobInc. Tj. globálnímu incidentu na rovině kolektoru. Základem je energie vystupující z FV pole EArray s názvem Ya. To odpovídá EArray v následující tabulce. Fialová oblast představuje ztráty pole,

označené Lc pro ztrátu pole. Hnědé pruhy představují energii spotřebovanou RD plus energii dodanou do sítě, Yf. Zelená plocha představuje ztrátu měniče.

Na Obr. 9 je shrnutí výsledků simulované fotovoltaické elektrárny. Obsahuje globální horizontální a difúzní záření. Dopadající globální ozáření, pojmenované GlobInc, je dopadem ozáření na rovině kolektorů. Je to výsledek transpozičního modelu. Efektivní globální ozáření, GlobEff, je zbývající záření, které dosáhne oblasti kolektoru po různých optických ztrátách, jako je stínování, IAM a znečištění. EArray zobrazuje FV energii z výstupu pole. E\_Grid zobrazuje energii vstříkovanou do sítě.

	<b>GlobHor</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>DiffHor</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>GlobInc</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>GlobEff</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>EArray</b> kWh	<b>E_Grid</b> kWh
<b>January</b>	25.9	13.85	48.0	46.6	292.2	253.2
<b>February</b>	44.9	23.85	68.0	66.2	411.5	374.9
<b>March</b>	87.0	47.52	111.2	107.9	657.3	613.9
<b>April</b>	126.7	61.83	144.5	140.2	831.5	786.6
<b>May</b>	156.9	74.69	163.3	158.4	921.2	873.4
<b>June</b>	164.6	71.59	162.9	157.7	900.7	854.1
<b>July</b>	168.6	76.03	172.4	167.1	945.3	897.3
<b>August</b>	142.1	74.88	154.4	149.4	855.5	809.2
<b>September</b>	97.0	51.56	118.1	114.2	670.0	627.7
<b>October</b>	60.2	31.44	87.6	85.1	510.0	468.8
<b>November</b>	28.7	17.56	47.2	45.7	280.4	244.2
<b>December</b>	20.8	12.91	37.8	36.6	227.4	189.8
<b>Year</b>	1123.7	557.70	1315.5	1275.2	7503.0	6993.0

**Legends**

GlobHor	Global horizontal irradiation
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation
GlobInc	Global incident in coll. plane
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings
EArray	Effective energy at the output of the array
E_Grid	Energy injected into grid

Obr. 9 Bilance a hlavní výsledky

Ztráty FV systému jsou tvořeny:

Faktorem IAM na globální úrovni o velikosti 3,07%. IAM je termín z anglického slova „Incidence Angle Modifier“ což v překladu odpovídá poklesu ozáření skutečně dosahujícího na povrch PV článků vzhledem k ozáření při normálním dopadu. Tento pokles je především odrazy na skleněném krytu, které se zvětšují s úhlem dopadu. Dále jsou ztráty FV způsobené v důsledku úrovně ozáření 1,17%. Ztrátami v důsledku teploty 3,49%. Ztrátami v důsledku nesouladu pole modulů 2,00%. Ohmickými ztrátami vedení 0,88%. Ztrátami měniče během provozu 3,99%. Noční spotřebou 0,13%. Bateriovými vstupy a ztrátami nabíječky 0,23%.

Energetická bilance úložné baterie 0,01%. Celkovými ztrátami baterie 0,13%. Bateriovým výstupem a ztrátami ve střídači 2,38%.

Podíl energie:

Po zadání hodnot odběru elektrické energie jednotlivými spotřebiči v programu PVsyst bylo vypočítáno  $1274 \text{ kWh/m}^2 \cdot 31 \text{ m}^2$  coll. Z toho plyne 7861 kWh vyrobené elektrické energie. Po odečtení ztrát danou ztrátou úrovní záření, teploty, ztrátami nesouladu modulového pole a ohmickými ztrátami bylo vyrobeno 7290 kWh. Po odečtení ztrát střídačem bylo dosaženo celkem 6979 kWh. Program vyhodnotil, že 5429 kWh bylo odesláno do sítě. Vlastní spotřeba uživatele činila 1550 kWh. A odebrání elektřiny ze sítě činila 2480 kWh.



## 4 FVE v režimu mikrozdroje

Připojení FVE k distribuční síti může být 1 fázové, 3 fázové, s povoleným přetokem, se zakázaným přetokem nebo jako ostrovní režim. Tzn. že výrobce elektřiny z FVE nebude dodávat do sítě žádnou elektrickou energii. Není připojen k distribuční síti.

### 4.1 Definice fotovoltaické elektrárny v režimu mikrozdroje

Je taková, že se jedná o zdroj elektrické energie a všech souvisejících zařízení pro výrobu elektrické energie, určené pro paralelní provoz s distribuční soustavou nízkého napětí se jmenovitým střídavým fázovým proudem do 16 A na fázi včetně a celkovým maximálním instalovaným výkonem do 10 kW včetně podle vyhlášky č. 16/2016 Sb. Od 1.8.2023 je definice FVE jiná.

Od 1.8.2023 platí díky novele energetického zákona podepsané prezidentem výkon fotovoltaiky na 50 kW. Tzn. že není zapotřebí licence na výrobu elektřiny od ERU ani stavební povolení. Tedy pokud instalace systému nezasáhne do nosných konstrukcí nebo nezmění způsob užívání stavby. Licenci k provozování fotovoltaiky nepotřebujete, pokud je v ostrovním režimu. Není napojena na distribuční síť a výkon elektrárny může být libovolně vysoký.

Licenci na provozování FVE potřebujete jeli výkon vyšší než 50 kW a zároveň je připojena do distribuční sítě.

Díky štedré dotaci Nová zelená úsporám je možné získat dotaci i na solární elektrárny, které nejsou připojeny k distribuční síti. Pro připojování FVE k distribuční síti je možno využít dvou režimů. Za prvé standardní režim připojení FVE do sítě. A za druhé zjednodušený režim připojení FVE do sítě.

Ve standardním režimu připojení FVE do sítě je povoleno přeprodávat přetoky do distribuční sítě. Pro poskytování elektrické energie působí v České republice celkem tři distributoři. ČEZ Distribuce, EG.D a PREdistribuce. Pokaždě splníme požadavky distributora je možné připojit FVE do sítě. Prvním krokem je podání žádosti o připojení FVE do distribuční sítě u územně příslušného distributora a nechat naši žádost distributorem posoudit a ověřit, zda naše odběrné místo splňuje požadavky pro připojení FVE k síti. Může se stát, že distributor žádost zamítne s tím, že distribuční síť v dané oblasti kapacitně nestačí. Toto stanovisko doplní žadateli o připojení k DS o termín navýšení kapacity sítě. Zjednodušené připojení může být tak jen dočasné. Po schválení žádosti žadatele distributorem následuje uzavření smlouvy o připojení.

Předloží se projektová dokumentace a příprava odběrného místa pro připojení k síti. V tomto bodě se podmínky jednotlivých dodavatelů nejvíce liší. Elektroměrový sloupek má od každého distributora jiné požadavky na jeho podobu.

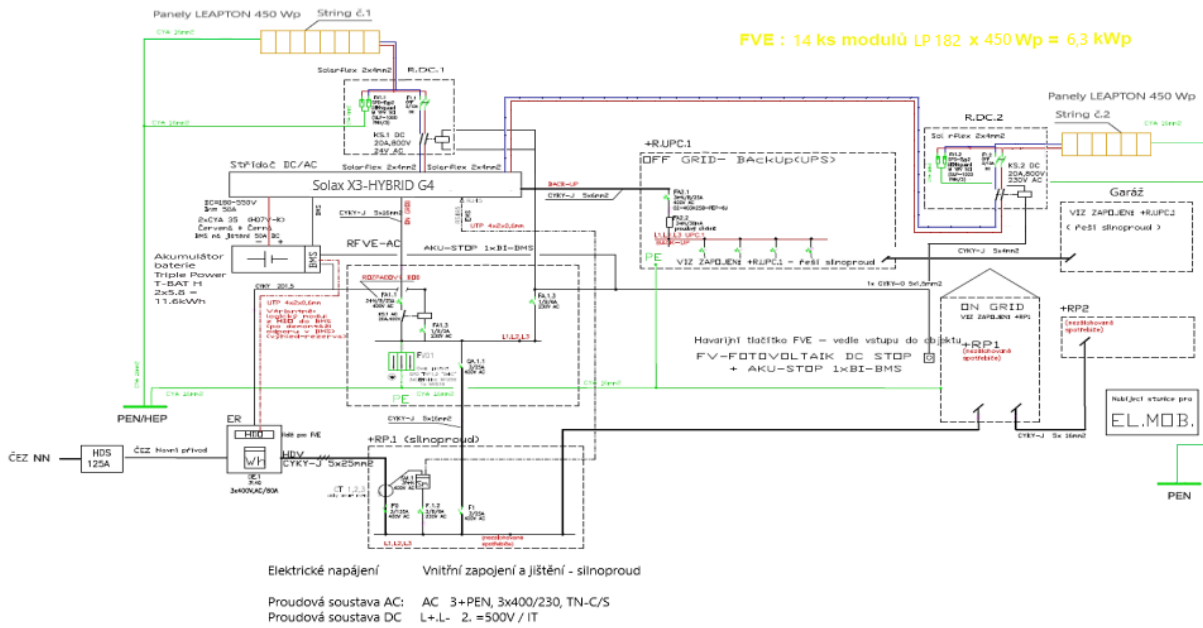
Ve zjednodušeném režimu připojení FVE k síti se musí splnit čtyři podmínky. Za prvé, zažádá se u příslušného distributora o připojení. Vyplní se formulář. Dodá se zjednodušené schéma a pokud je kapacita na síti tak to distributor schválí. Nikdy nemůže vzniknout přetok.

#### **4.2 Připojování nových výroben elektřiny – Ověřovací provoz**

Na základě požadavku výrobce povolí PDS ověřovací provoz výrobní elektřiny. Ověřovací provoz bude časově omezen a bude povolen pouze za účelem uvedení výrobní elektřiny do provozu, provedení potřebných zkoušek a měření a může, na základě rozhodnutí PDS, probíhat bez instalovaného fakturačního měření dodávky do DS.

#### **4.3 Žádost o připojení podle §4**

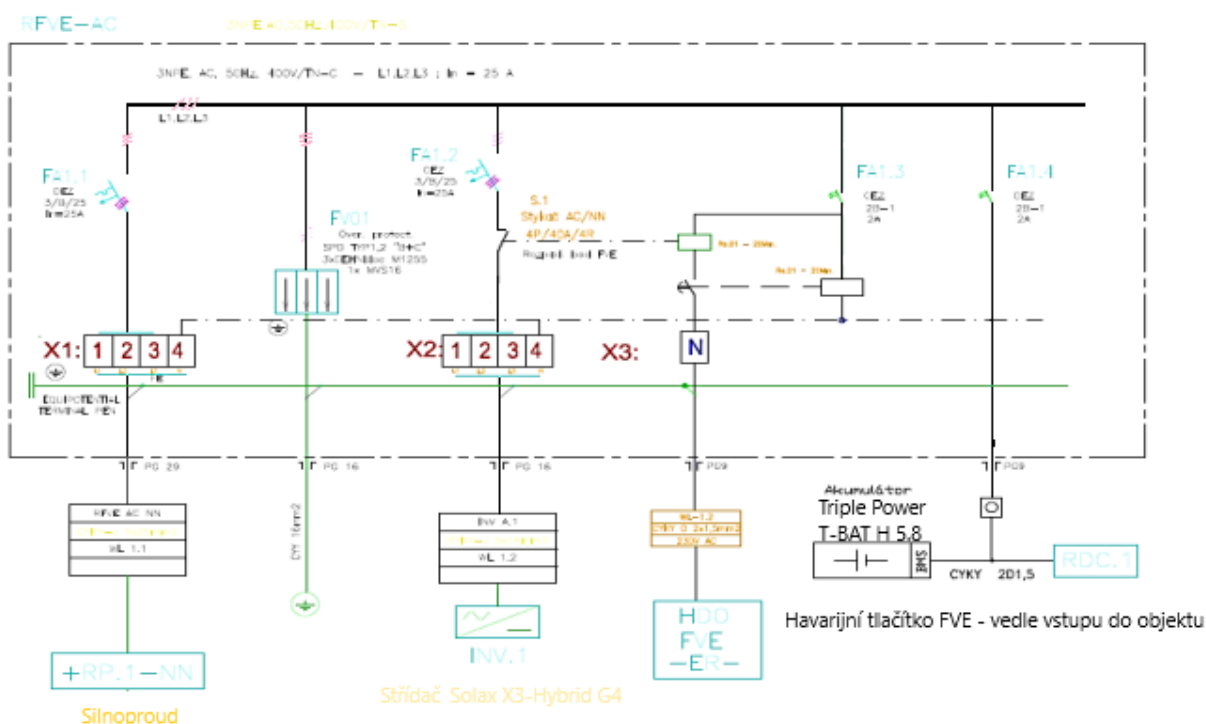
Žádost o připojení se podává pro každé odběrné nebo předávací místo zvlášť. Žádost o připojení zařízení se podává před výstavbou nebo připojením nového zařízení, s výjimkou mikrozdrojů připojovaných k distribuční soustavě postupem podle § 13. Žadatel o připojení mikrozdroje zajistí změření impedance v místě připojení OM – (odběrného místa) k distribuční soustavě osobou s odbornou způsobilostí. Hodnota limitní impedance je pro zdroje do 16 A na fázi  $Z_{VZ} < 0,47 \Omega$  a pro zdroje do 10 A na fázi  $Z_{VZ} < 0,75 \Omega$ . V případě, že je naměřená hodnota impedance vyšší nebo rovna hodnotě limitní impedance, může žadatel připojit mikrozdroj v odběrném místě jen za podmínek podle § 3 odst. 1.



Obr. 10 Jednopolové schéma FVE o výkonu 6,3kWp

Projekt řeší silnoproudou NN elektroinstalaci na střeše novostavby RD a připojení fotovoltaické elektrárny o instalovaném výkonu generátorů energie 6,3kWp viz. Obr. 10. Vyrobená el. energie z FVE je přes rozvaděč R.DC.1 a R.DC.2 přivedena pomocí DC kabelů do střídače Solax X3-HYBRID G4 a z něj do rozvodné skříně R.AC.FVE / NN viz. Obr. 11 a dále pomocí kabelů NN přenesena do rozvaděče silnoproudu 1RP.1, odkud je rozvedena do domu. Navíc je vyrobená energie ukládána do akumulačního setu 2x T-BAT H 5,8kWh, od značky Triple Power tj. celkem 11,6kWh.

## ROZVADĚČE RFVE-AC



Obr. 11 Schéma AC rozvaděče

V rámci instalace budou použity tyto rozvodné sítě a napětí: 3PEN AC 50 Hz, 480 V/TN-C a 1NPE AC 50 Hz, 230 V/TN-S, DC 2-1000V/IT.

Ochrana před úrazem el. proudem dle ČSN 33 2000-4-41 ed.2 je:

- a) Ochrana základní před dotykem živých částí
  - ochrana izolací živých částí
  - ochrana kryty nebo přepážkami
- b) Ochrana při poruše před dotykem neživých částí
  - normální – automatickým odpojením od zdroje
  - doplněná – doplňujícím pospojováním
  - izolací, krytí, pospojováním, uzemnění (DC)

Hlavní pospojování a doplňující pospojování bude provedeno dle ČSN 33 2000-4-41 ed.2 a 33 2000-5-54 ed.2. Pospojování neživých částí bude provedeno u konstrukcí modulů střechy jak na části DC, tak i AC na HEP rodinného domu. Pospojování modulů na střeše garáže a DC bude svedeno přes hromosvod do země.

Systém FVE a ocelových konstrukcí panelů je vodivě pospojovaný CYA 16mm<sup>2</sup> s konstrukcí a samostatně uzemněn a napojen na EVP – ekvipotenciální přípojnicí a vnější zemnicí soustavu.

V zemi, resp. těsně nad zemí je provedeno propojení na hromosvodovou uzemňovací soustavu pomocí proudové svorky S 2-20.

Hromosvod na střeše je proveden v souladu s FV soustavou jako strojený mřížový jímač v celé ploše střechy dle ČSN EN 62 305. Střídače, rozvaděče a solární panely jsou pospojovány, přizemněny a uvedeny na společný potenciál každý samostatně a navzájem, což je základním ochranným opatřením proti přepětí i nedovolenému dotykovému napětí.

Vyrobená a získaná el. energie z FV elektrárny je pomocí rozvaděče R.AC/NN FVE přivedena do rozvaděče domu +RP.1, řeší silnoproud. Z tohoto rozvaděče AC/NN 0,4kV jsou napájeny spotřebiče v objektech. Z BackUp vývodu je napojen rozvaděč +R.UPC.1.

Měření vyrobené energie FVE je prováděno střídačem a ve Smart metru Solax společně. Hodnoty jsou prostřednictvím Wifi odesílány k majiteli.

Střídače Solax jsou vybaveny univerzální sít'ovou ochranou určenou pro ochranu uživatelské – distribuční sítě před případnými nežádoucími účinky FV zdroje el. energie. Tato ochrana sdružuje tyto prvky. Nad frekvenční a pod frekvenční ochranu. Přepět'ovou a podpět'ovou ochranu. Pořadí a přítomnost fází. Symetrie fází a vektorový skok.

Při výpadku sítě NN dojde k odpojení časovacího relé, které po oživení napětí v síti zajistí zpožděné připojení FVE v čase 20 min dle požadavku Technických podmínek a příloh ČEZu.

Výše uvedené relé HDO – FVE ovládá rozpadové místo – bod v rozv. RFVE.AC. Rozpadové místo je osazeno vypínačem s polohou „VYPNUTO“ FVE.

Pro dispečerské řízení je připraveno vypínání ve stupni 0 – 100% výkonu povelom P.1. K tomuto účelu je nově osazen v elektroměrové skříní RE přijímač HDO pro dispečerské ovládání – vypínání FV zdrojů. Výstup z HDO – FVE povelom P.1 0 – 100% vypnutí výkonu spíná pomocné relé R.2., které ovládá společný stykač obou elektráren v RFVE.AC. Pro napájení TUV – teplé užitkové vody je použito pomocné relé R.1. Signály z obou relé jsou do objektu přivedeny kabelem CYKY. Pro napájení těchto zařízení slouží jistič napojený před hlavním jističem tak, aby byl zachován vždy provoz HDO. Od ČEZu je osazen 4 kvadrantní elektroměr. Připojovaná zařízení FV systému jsou ve stejnosměrné DC a střídavé AC části silnoproudu, vč. slaboproudé části vybavena příslušnými ochranami proti přepětí. Na DC straně se jedná o odpojovače s pojistkami 2 x 1000V a přepět'ovou ochranou typu2. Na AC straně v rozvaděči R.AC/NN-FVE se jedná o přepět'ovou ochranu SPD TYP 1,2 B+C. Jsou zde dva jističe FA1.1 FA1.2 3/B/25 pro odpojení FVE od svorkovnic X1 a X2. A dva jističe 2B/1. První FA1.3 pro jistění rozpadového bodu FVE. A druhý FA1.4 pro jistění havarijního tlačítka.

Silnoproudé propojení a kabelové rozvody DC jsou provedeny měděnými k tomuto účelu určenými solárními kabely s UV odolností o průřezu 4, 6, 10, a 16mm<sup>2</sup> a dále Cu kabely CYKY. Přechody stringů mezi FV řadami jsou vedeny v chráničkách PVC s UV ochranou. Celkové provedení kabelových rozvodů musí odpovídat zejména ČSN EN 33 2000-5-52 a barevné značení vodičů ČSN EN 33 0165.

## 5 Technologie VTG

Díky moderní technologii lze nejen vykryvat spotřebu el. energie v síti obnovitelnými zdroji energie, ale i vybíjením el. energie z aut. Volný překlad je elektrická energie z auta do sítě. Pokaždě elektromobil a zároveň elektrická dobíjecí stanice disponují technologií V2G lze elektrickou energií nejen dobíjet automobil, ale také z něj posílat elektrickou energii zpět do sítě. Pomocí elektromobilů bude možné pokrývat špičky zátěže distribuční soustavy. To se vyplatí jak provozovatelům distribuční soustavy, tak i majitelům elektromobilů. V noci lze za nízkou sazbu dobíjet elektromobil a ve dne lze část energie za vyšší sazbu zas energii posílat zpět do sítě. Pro tento účel bude zapotřebí budova tzv. chytré sítě „Smart Grids“. Stěžejním prvkem tzv. „Smart Grids“ je komunikace všech prvků sítě mezi sebou. Pomocí inteligentního řízení lze optimalizovat celkové náklady. Posílání elektřiny zpět do sítě je komplikovanější než brát elektrickou energii ze sítě. Díky sensorům a měřícím členům bude možné předvídat toky v síti a zapojit tak zařízení pracující na technologii VTG do sítě. Způsobů, jak využít elektrickou energii z aut je mnoho. Patří k nim technologie V2L – vehicle to load. Tzn. že vozidlo je schopno napájet například elektrokolo nebo běžné spotřebiče. Dále je zde technologie V2H. Neboli vehicle to home. Auto lze proměnit v nabíječku pro napájení domácností. Takovýto střídač bude muset být vybaven obousměrnou nabíječkou, záložní baterií, průběhovým elektroměrem, který měří jak spotřebu, tak i dodávku do sítě. A vzdáleným řízením výroby, řešenou vzdáleným signálem z HDO. K tomu může posloužit řada od GM Energy Ultimum. U aut se počítá s vybíjecími výkony 10kW. Nabíjení i vybíjení automobilu lze řídit přes aplikaci. I samotný výrobce elektřiny si může sám stanovit zdali chce energii z aut odebírat nebo ne.

## Závěr

Z uvedených výsledků vyplývá, že pro navrženou fotovoltaickou elektrárnu 6,3kWp je pro rodinný dům možné vyrobit 5,8MWh elektrické energie. Vlastní spotřeba může dosáhnout 4,5MWh elektrické energie. Spotřeba z fotovoltaické elektrárny může činit 3,1MWh. Do sítě je možné dodat 2,7MWh. Celkové náklady na energie činí 44 625 Kč. Celkové úspory 25 608. Nová platba za energie se rovná 19 017 Kč. Odhadovaná návratnost investice je 10,2 roků. Pro takovou fotovoltaickou elektrárnu je možné získat dotaci ve výši 170 000Kč. Tato elektrárna byla vybrána z důvodu možnosti získání dotace. Pro případ pořízení fotovoltaické elektrárny o výkonu 9,7kWp by dotaci nebylo možné získat. Vlastní spotřeba takovéto elektrárny by byla 3,3MWh elektrické energie. Ekonomická bilance vlastní spotřeby. Celkové náklady na energie jsou 44 625 Kč. Celkové úspory činí 34 625 Kč. Nová platba za energie je 9 929 Kč. Ušetření činí 34 695 Kč. Návratnost za investice se rovná 13,8 roků. Tato návratnost se může zkrátit v závislosti na tom, zdali bude cena elektřiny stoupat.

Z toho lze posoudit jakou fotovoltaickou elektrárnu si uživatel chce pořídit. Zdali FV elektrárnu o menším výkonu. Ale s možností získání dotace. Nebo větší FV elektrárnu bez možností získání dotace. Zdali chce uživatel vyrobit více elektřiny a tu pak prodávat. Cena platby za elektřinu je v takovém případě nižší než u FV elektrárny s menším výkonem.



## Literatura

- [1] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2011. 176 s. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [2] Rust, T.: Kohake, D.: Rossner, M.: Sanyo-HIT: Revolutionäre Technik oder mehr Schein als Sein? In: Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut (OTTI) e.V., Regensburg (Hrsg.): 19. Symposium Photovoltaische Solarenergie. Staffelstein, 10.-12. März 2004. 2004. S. 395-400
- [3] Kremer, P.: Arcing potential in fuse: missing standards for adequate trstiny of fuse in PV application. In: International Workshop: Arcing in PV DC-Arrays. Burgdorf (Schweiz), 31. Okt. 2007 (Power-Point-Vortrag) `l a b s . h t i . b f h . c h / f i l e a d m i n / u s e r _ u p l o a d / l a b 1 / p v / W o r k s h o p _ T a g u n g e n / C _ K o e r n e r _ A r c i n g _ p o t e n t i a l _ i n _ f u s e s _ D K E _ K r e m e r _ 1 0 3 1 . p d f`
- [4] HENZE, Andreas a Werner HILLEBRAND. *Elektrický proud ze slunce: fotovoltaika v praxi : technika, přehled trhu, návody ke stavbě*. 1. české vyd. Překlad Václav Losík. Ostrava: HEL, 2000, 136 s. ISBN 80-861-6712-7.
- [5] KRIEG, Bernhard. *Elektrina ze Slunce: fotovoltaika v teorii a praxi*. 1. vyd. Ostrava: HEL, 1993, 223 s.
- [6] Intenzita slunečního záření v České republice: vyplatí se vlastní solární elektrárna? Online. *Solidsun*. 2023, roč. 2023, s. 1. Dostupné z: <https://www.solidsun.cz/prispevky/intenzita-slunecniho-zareni-v-ceske-republice-vyplati-se-vlastni-solarni-elektrarna-248.php>. [cit. 2023-12-21].
- [7] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMĚŠ. *Fotovoltaika: elektrická energie ze slunce*. 1. vyd. Praha: EkoWATT, 2009, 93 s. ISBN 978-80-87333-01-3.
- [8] České slunce: - solární panely, solární systémy, solární mapa, ekologie. ČESKÉ SLUNCE [online]. 2012 [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: <http://www.ceskeslunce.cz/faq.html>
- [9] Fotovoltaické panely. Online. *Elfetex*. 2023. Dostupné z: <https://www.elfetex.cz/jasolar-panel-jam66s30-500wp-mr-solarni-cerny-ram-30mm-3240037>. [cit. 2023-12-23].

- [10] Základy fotovoltaiky. ITserve s.r.o [online]. 2011 [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.itserve.cz/index.php/fotovoltaiicke-elektrarny/fotovoltaiika>
- [11] Proudový chránič Typ B - Ev31-63-B. Online. *Elektroinstalační příslušenství*. 2022, roč. 2022, s. 1. Dostupné z: <https://www.evexpert.cz/p/430/proudovy-chranic-typu-b-ev31-63-b>. [cit. 2023-12-16].
- [12] *Proudový chránič  $I_r=250A$ , typ A, 4-pól,  $I_{dn}=0.03A$ ,  $I_n=40A$  fotovoltaika*. Online. Elektra skokan. 2023. Dostupné z: <https://www.elektroskokan.cz/proudovy-chranic-ir-250a--typ-a--4-pol--idn-0-03a--in-40a/>. [cit. 2023-12-16].
- [13] FV panel Amerisolar 285Wp. Online. SVP Solar. 2023. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/p/fv-panel-amerisolar-285wp/>. [cit. 2023-12-23].
- [14] Fotovoltaické měniče. Online. Elfetex. 2023. Dostupné z: <https://www.elfetex.cz/wattsonic-g3-menic-10kw-hybridni-fv-3f-wifi-25a-3219515>. [cit. 2023-12-23].
- [15] Fotovoltaické měniče. Online. Elfetex. 2023. Dostupné z: <https://www.elfetex.cz/goodwe-menic-10k-et-plus-3f-10kw-3191067>. [cit. 2023-12-23].
- [16] *Ukládání energie*. Online. Elfetex. 2023. Dostupné z: <https://www.elfetex.cz/solar-controls-regulator-watrouter-eco-s-mericim-modulem-3243210>. [cit. 2024-01-06].
- [17] *Revizní přístroje*. Online. Elfetex. 2023. Dostupné z: <https://www.elfetex.cz/wattsonic-smart-meter-wts-d120-c2000a-s-civkami-o-120-mm-3229908>. [cit. 2024-01-06].
- [18] *Od 15. 2. 2024 se snižuje podpora fotovoltaiky v Nové zelené úsporám*. Online. Tzb.info. 2024. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaiika/26412-od-15-2-2024-se-snizuje-podpora-fotovoltaiiky-v-nove-zelene-usporam>. [cit. 2024-03-23].
- [19] *Výkup elektřiny z fotovoltaiky 2024*. Online. KupníSíla.cz. 2023. Dostupné z: <https://www.kupnisila.cz/vykup-elekriny-z-fotovoltaiiky-vykupni-ceny/>. [cit. 2024-03-23].
- [20] *Solární panely vrátí energii vloženou do jejich výroby až v roce 2020 Zdroj: https://www.idnes.cz/ekonomika/zahranicni/solarni-panely-vrati-energii-danou-do-jejich-vyroby-az-v-roce-2020.A130407\_181347\_eko-zahranicni\_brd*. Online. IDNES.cz. 2013. Dostupné z: [https://www.idnes.cz/ekonomika/zahranicni/solarni-panely-vrati-energii-danou-do-jejich-vyroby-az-v-roce-2020.A130407\\_181347\\_eko-zahranicni\\_brd](https://www.idnes.cz/ekonomika/zahranicni/solarni-panely-vrati-energii-danou-do-jejich-vyroby-az-v-roce-2020.A130407_181347_eko-zahranicni_brd)

- 
- [panely-vrati-energii-danou-do-jejich-vyroby-az-v-roce-2020.A130407\\_181347\\_eko-zahranicni\\_brd](#). [cit. 2024-03-25].
- [21] *Jak moc zatěžuje životní prostředí výroba fotovoltaických panelů*. Online. E.on. 2022. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/energie/solarni-energie/jak-narocna-je-vyroba-solarnich-panelu/>. [cit. 2024-03-25].
- [22] *WATTSONIC G2 Modul bateriový 3,84kWh 76,8V LiFePO4*. Online. Elfetex. 2024. Dostupné z: <https://www.elfetex.cz/wattsonic-g2-modul-bateriovy-3-84kwh-76-8v-lifepo4-3153956>. [cit. 2024-04-14].
- [23] *WATTSONIC G2 Systém řídicí bateriový BMS 3,84 kWh s LCD*. Online. Elfetex. 2024. Dostupné z: <https://www.elfetex.cz/wattsonic-g2-system-ridici-bateriovy-bms-3-84-kwh-s-lcd-3153954>. [cit. 2024-04-14].
- [24] *Elektroměr MANELER 9905M, přímé měření 10-100A, neověřený*. Online. SVP SOLAR. 2024. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/p/elektromer-maneler-9905m-prime-mereni-10-100a-neovereny/>. [cit. 2024-05-06].