

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektroenergetiky



**Srovnání projektových hodnot FVE s reálně dosahovanými hodnotami**

Bakalářská práce

Martin Tůma



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Tůma** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **499026**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Specializace: **Aplikovaná elektrotechnika**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Srovnání projektovaných hodnot FVE s reálně dosahovanými hodnotami**

Název bakalářské práce anglicky:

**Comparison of design values with the real design of the photovoltaic power plants**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Popis a hlavní parametry návrhu fotovoltaické elektrárny.
- 2) Návrh fotovoltaické elektrárny.
- 3) Hlavní parametry provozované FVE.
- 4) Analýza a vyhodnocení navrhovaných a dosažených hodnot FVE.

Seznam doporučené literatury:

- 1) LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie. Praha: Ilsa, 2009. ISBN 9788090431102.
- 2) LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Solární energie: fotovoltaika - perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti. V Praze: ČZU, 2005. ISBN 8021313358.
- 3) SRDEČNÝ, Karel. Fotovoltaika v budovách: dosavadní zkušenosti pro budoucí rozvoj. Praha: EkoWATT, 2009. ISBN 9788087333044.
- 4) STANĚK, Kamil. Fotovoltaika pro budovy. Praha: Grada pro Katedru konstrukcí pozemních staveb Fakulty stavební Českého vysokého učení technického v Praze, 2012. ISBN 9788024742786.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Radim Kolařík Constellium Extrusions Děčín s.r.o.**

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

Datum zadání bakalářské práce: **20.02.2023** Termín odevzdání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

Platnost zadání bakalářské práce: **16.02.2025**

Ing. Radim Kolařík  
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta



# PROHLÁŠENÍ

---

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 26. května 2023

.....

Martin Tůma

# PODĚKOVÁNÍ

---

Děkuji vedoucímu práce Ing. Radimu Kolaříkovi a odbornému konzultantovi Mgr. Ing. Vítu Kleinovi, Ph.D., za jejich přispění při přípravě této bakalářské práce. Jejich rady, hodnocení a nápady mi poskytly cenné perspektivy, které mi umožnily dosáhnout kvalitního výsledku této práce. Děkuji Vám oběma za Vaši ochotu, trpělivost a věnovaný čas.

## ABSTRAKT

---

Tato bakalářská práce se zabývá fotovoltaickými elektrárnami a různými způsoby jejich návrhu s důrazem na porovnání dosažených hodnot s navrženými. Konkrétně návrhu pomocí normy a simulačního programu PVGIS. První část se zabývá představením základních pojmů ve fotovoltaice. Další část se věnuje návrhu. Následně prezentuje výsledky návrhů pomocí obou metod. V závěru práce byla provedena analýza výsledků obou metod s ohledem na jejich odchylky od skutečných hodnot.

### **Klíčová slova:**

Solární energie, fotovoltaické panely, PVGIS, norma, návrh fotovoltaické elektrárny, profil denní spotřeby, dosažený výkon, srovnání s dosaženými hodnotami, geografická poloha, efektivita fotovoltaické elektrárny, sklon panelů.

## ABSTRACT

---

This bachelor thesis deals with photovoltaic power plants and different ways of their design with emphasis on the comparison of the achieved values with the designed ones. Specifically the design using the norm and the simulation program PVGIS. The first part deals with the introduction of basic concepts in photovoltaics. The next part deals with the design. Then, it presents the design results using both methods. The paper concludes with an analysis of the results of both methods with respect to their deviations from the actual values.

### **Keywords:**

Solar energy, photovoltaic panels, PVGIS, norm, design of photovoltaic plant, daily consumption profile, achieved performance, comparison with achieved values, geographical location, efficiency of photovoltaic plant, inclination of panels.

# OBSAH

---

<b>1. Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2. Popis a hlavní parametry návrhu fotovoltaické elektrárny.</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Fotovoltaické panely</b>	<b>2</b>
2.1.1. První panel	2
2.1.2. Druhý panel	3
2.1.3. Třetí panel	4
<b>2.2. Nabíjení baterie</b>	<b>5</b>
<b>2.3. Základní pojmy ve fotovoltaice</b>	<b>6</b>
2.3.1. VA charakteristika FV panelu	6
2.3.2. Ostrovní solární systém (OFF Grid)	7
2.3.3. Síťový solární systém (ON Grid)	7
2.3.4. Hybridní systémy	8
2.3.5. All in one	8
2.3.6. Modulární řešení	8
2.3.7. Fázové měření	9
2.3.8. Součtové měření	9
<b>3. Návrh fotovoltaické elektrárny</b>	<b>10</b>
<b>3.1. Sluneční energie</b>	<b>10</b>
<b>3.2. Orientace fotovoltaických panelů</b>	<b>11</b>
<b>3.3. Sklon fotovoltaických panelů</b>	<b>11</b>
<b>3.4. Fotovoltaická přeměna</b>	<b>12</b>
3.4.1. Polovodiče typu N	12
3.4.2. Polovodiče typu P	12
3.4.3. Pásy energie	13
3.4.4. Druhy excitací	13
3.4.4.1. Excitaci dělíme na:	13
3.4.5. Princip fotovoltaické přeměny energie	13
<b>3.5. Modul fotovoltaického článku</b>	<b>14</b>
<b>3.6. Základní druhy FV – panelů</b>	<b>15</b>
3.6.1. Monokrystalické solární panely	15
3.6.2. Polykrystalické solární panely	15



3.6.3.	Amorfní fotovoltaické panely	16
<b>3.7.</b>	<b>Spotřeba elektrické energie</b>	<b>17</b>
3.7.1.	Spotřeba v jednotlivé dny	17
3.7.2.	Spotřeba měsíční změřená vlastníkem	18
3.7.3.	Roční spotřeba elektřiny v domácnosti	18
3.7.4.	Spotřeba plynu v domácnosti	18
<b>4.</b>	<b>Vlastní návrh FVE</b>	<b>19</b>
<b>4.1.</b>	<b>Teoretický výpočet výroby elektrické energie FVE</b>	<b>19</b>
4.1.1.	Výpočet vyrobené energie dle normy:	19
<b>4.2.</b>	<b>Návrh PVGIS</b>	<b>21</b>
4.2.1.	Návrh pomocí PVGIS s připojením na síť	21
4.2.1.1.	Výsledek ze simulace s připojením na síť	22
4.2.2.	Návrh FVE pomocí PVGIS v ostrovním režimu	23
4.2.2.1.	Výsledek simulace v bezsítovém zapojení	25
<b>4.2.3.</b>	<b>Porovnání hodnot výroby a simulace</b>	<b>27</b>
<b>4.3.</b>	<b>Návrh dle normy ČSN EN 15316-4-3 (060401) Energetická náročnost budov – Metoda výpočtu potřeb energie a účinností soustav – Část 4-3: Výroba tepla, solární tepelné a fotovoltaické soustavy, Modul M3-8-3, M8-8-3, M11-8-3</b>	<b>29</b>
<b>4.4.</b>	<b>Srovnání výsledků ze simulací</b>	<b>31</b>
<b>5.</b>	<b>Hlavní parametry provozované FVE</b>	<b>32</b>
5.1.	Základní popis provozované FVE	32
5.2.	Popis jednotlivých prvků	32
5.3.	Měnič MultiPlus-II Gx	33
5.4.	Měnič MultiPlus-II	34
5.5.	MPPT regulátory	34
5.6.	Baterie	35
5.7.	FV – panely	35
5.8.	Vyrobená elektrická energie FVE	36
<b>6.</b>	<b>Analýza parametrů panelů</b>	<b>37</b>
<b>7.</b>	<b>Závěr</b>	<b>38</b>



## SEZNAM OBRÁZKŮ

---

Obr. 1 Fotografie panelu č. 1[15] .....	2
Obr. 2 Fotografie panelu č. 2[33] .....	3
Obr. 3 Fotografie panelu č. 3[35] .....	4
Obr. 4 VA charakteristika FV panelu [21] .....	6
Obr. 5 Ostrovní solární systém [14] .....	7
Obr. 6 Síťový solární systém [14] .....	7
Obr. 7 Hybridní systém .....	8
Obr. 8 Fázové měření .....	9
Obr. 9 Součtové měření.....	9
Obr. 10 Doba slunečního svitu ve Francii [6] .....	10
Obr. 11 Doba slunečního svitu ČR [16] .....	10
Obr. 12 Dlouhodobý průměr ozáření za rok v ČR [16].....	11
Obr. 13 Výnos energie v závislosti na sklonu a orientaci panelu [5] .....	12
Obr. 14 Pásová struktura .....	13
Obr. 15 Modul fotovoltaického článku [14].....	14
Obr. 16 Modul fotovoltaického článku [11].....	14
Obr. 17 Monokrystalický panel [25] .....	15
Obr. 18 Polykrystalický panel [23] .....	16
Obr. 19 Amorfni panel [2].....	16
Obr. 20 mapa a pokrytí slunečního záření jednotlivých oblastí [10].....	21
Obr. 21 Vložení do simulace PVGIS[22].....	22
Obr. 22 Vložení do PVGIS[22].....	24
Obr. 23 Složení elektrárny [29] .....	33

## SEZNAM GRAFŮ

---

Graf 1 Týdenní spotřeba.....	17
Graf 2 Měsíční spotřeba .....	18
Graf 3 Měsíční ozáření .....	22
Graf 4 Měsíční výkon pro instalovaný výkon 9,1 kWp .....	23
Graf 5 Profil denní spotřeby .....	24
Graf 6 Vyrobená elektřina FVE .....	25
Graf 7 Výkon baterie pro FV systém mimo síť simulace.....	26
Graf 8 Výkon baterie pro FV systém mimo síť simulace.....	26
Graf 9 Porovnání hodnot .....	27
Graf 10 Výkon baterie mimo síť (realita a simulace).....	28
Graf 11 Výkon baterie mimo síť (realita a simulace).....	28
Graf 12 měsíční ozáření .....	29
Graf 13 měsíční výkon pro 9,1 kWp .....	30
Graf 14 Měsíční vážený výkon pro 9,1 kWp .....	30
Graf 15 Srovnání předpokládané produkce elektrické energie za měsíc .....	31
Graf 16 vyrobená elektřina pomocí FVE .....	36

## SEZNAM TABULEK

---

Tabulka 1 Základní parametry panelu č. 1 .....	2
Tabulka 2 Základní parametry panelu č. 2 .....	3
Tabulka 3 Základní parametry panelu č. 3 .....	4
Tabulka 4 Spotřebiče v domácnosti .....	17
Tabulka 6 Srovnání výpočtů a simulací .....	31
Tabulka 7 Parametry ovládacího měniče [26].....	33
Tabulka 8 Parametry měničů neovládacích [26] .....	34
Tabulka 9 parametry MPPT regulátorů [28] .....	34
Tabulka 10 Parametry baterie [24] .....	35
Tabulka 11 parametry Fotovoltaického panelu [25].....	35
Tabulka 12 Parametry panelů.....	37

# SEZNAM PŘÍLOH

---

Všechny přílohy této bakalářské práce jsou autorem odevzdávány v elektronické podobě.

Příloha č.1: Složka s vytvořenými modely a vstupy projektu fotovoltaické elektrárny (složka elektronických souborů „Navrh\_FVE.zip“)

Tato příloha obsahuje následující soubory:

Příloha č.1.1 Veškerá data a potřebné tabulky (elektronický soubor „Navrh\_FVE.xlsx“)

Příloha č.1.1.1 PVGIS simulace (první list v tabulkovém procesoru)

Příloha č.1.1.2 Profil spotřeby (druhý list v tabulkovém procesoru)

Příloha č.1.1.3 Odhad elektřiny mimo síť (třetí list v tabulkovém procesoru)

Příloha č.1.1.4 Nabití baterie (čtvrtý list v tabulkovém procesoru)

Příloha č.1.1.5 Výpočet dle normy (pátý list v tabulkovém procesoru)

Příloha č.1.1.6 PVGIS 2005-2020 (šestý list v tabulkovém procesoru)

Příloha č.1.1.7 Porovnání výpočtu dvou metod (sedmý list v tabulkovém procesoru)

Příloha č.2: Zobrazení prvního FV panelu na střeše

Příloha č.3: Zobrazení druhého FV panelu na střeše

Příloha č.4: Zobrazení třetího FV panelu na střeše

Příloha č.5: Zobrazení čtvrtého FV panelu na střeše

## SEZNAM ZKRATEK

---

BPS	Bez profilu spotřeby
FVE	Fotovoltaická elektrárna
FV	Fotovoltaický článek
PS	Profil spotřeby
PV	Polovodičový
PWM	Pulzně šířková modulace („Pulse width modulation“)
MPP	Bod maximálního výkonu („Maximum power point“)
MPPT	Sledovač bodu maximálního výkonu („Maximum power point tracker“)
STC	Standardní testovací podmínky
V–A	Volt Ampérová charakteristika
Wp	Špičkový výkon („Watt peak“)

## 1. Úvod

Fotovoltaické elektrárny, dále už (FVE), jsou v současné době velmi populárním zdrojem obnovitelné energie. Vzhledem k rostoucímu zájmu o obnovitelné zdroje energie a snižování emisí skleníkových plynů jsou FVE stále více žádané. A jsou implementovány po celém světě. Projektování FVE je náročný proces, který zahrnuje mnoho faktorů, jako je poloha, orientace panelů, typy panelů a další.

Cílem této bakalářské práce je analyzovat rozdíly mezi projektovými hodnotami FVE a reálně dosahovanými hodnotami v provozu. V práci budou popsány různé faktory, které ovlivňují výkonnost FVE. A následně budou srovnány projektové hodnoty s hodnotami, které byly získány měřením.

Výsledky této práce mohou přinést poznatky pro optimalizace provozu FVE, zároveň mohou posloužit jako zdroj informací pro širší veřejnost a podpořit rozvoj obnovitelných zdrojů.

## 2. Popis a hlavní parametry návrhu fotovoltaické elektrárny.

V návrhu se budeme věnovat umístění FVE na rodinný dům, který má sedlovou střechu a ta je orientována na jih. Elektrárna je již na objektu umístěna a data z ní budou okomentována níže.

### 2.1. Fotovoltaické panely

Elektrárna bude porovnána s těmito panely. Byly vybrány tak, aby jejich celkový výkon byl totožný s instalovanou elektrárnou. Rozhodovat bude plocha, na kterou budou panely instalovány, následně jejich hmotnost, cena a další parametry.

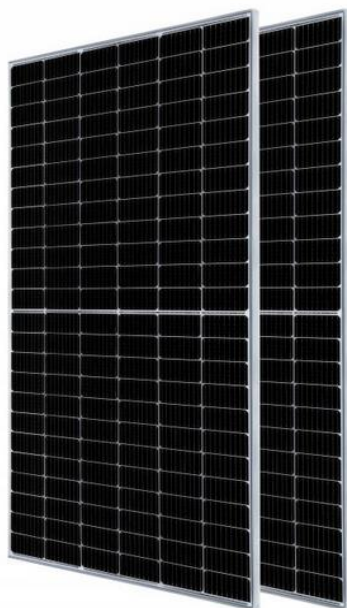
#### 2.1.1. První panel

Jako první panel byl vybrán JASOLAR Panel JAM72S20 455 Wp solární černý rám 35 mm, jako levnější konkurent k panelu LONGI LR4-72HPH-455M SILVER, který se skládá ze 144 článků a obsahuje 3 by-pass diody a ochranu IP68.

Základní parametry panelu uvádíme v tabulce č. 1:

<b>Jmenovité napětí <math>U</math></b>	<b>V</b>	41,82
<b>Maximální proud při zatížení <math>I_{\max}</math></b>	<b>A</b>	10,88
<b>Zkratový proud <math>I_z</math></b>	<b>A</b>	11,41
<b>Rozměry <math>vxšxh</math></b>	<b>mm</b>	2 112x1 052x35
<b>Hmotnost <math>m</math></b>	<b>kg</b>	24,5
<b>Účinnost modulu <math>\eta</math></b>	<b>%</b>	20,5
<b>Maximální výkon <math>P_{\max}</math></b>	<b>W</b>	455
<b>Záruka výrobku od výrobce <math>t</math></b>	<b>rok</b>	12
<b>Aktuální cena</b>	<b>Kč</b>	3 329,49

Tabulka 1 Základní parametry panelu č. 1



Obr. 1 Fotografie panelu č. 1[15]



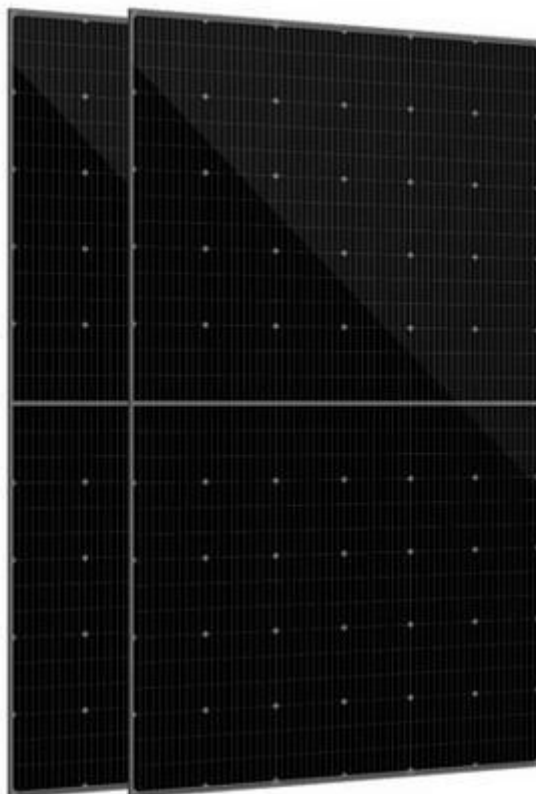
### 2.1.2. Druhý panel

Jako druhý panel byl vybrán Fotovoltaický solární panel Solární panel DAH 455 Wp, celočerný, full screen, monokrystalický, mono faciální, který se skládá ze 180 článků a obsahuje 3 by pass diody a ochranu IP68.

Základní parametry panelu uvádíme v tabulce č. 2:

<b>Jmenovité napětí <math>U</math></b>	<b>V</b>	62,2
<b>Maximální proud při zatížení <math>I_{MAX}</math></b>	<b>A</b>	8,66
<b>Zkratový proud <math>I</math></b>	<b>A</b>	9,19
<b>Rozměry <math>vxšxh</math></b>	<b>mm</b>	1 903x1 134x32
<b>Hmotnost <math>m</math></b>	<b>kg</b>	23,5
<b>Účinnost modulu <math>\eta</math></b>	<b>%</b>	21,08
<b>Maximální výkon <math>P_{MAX}</math></b>	<b>W</b>	455
<b>Záruka výrobku od výrobce <math>t</math></b>	<b>rok</b>	12
<b>Aktuální cena</b>	<b>Kč</b>	4 702

*Tabulka 2 Základní parametry panelu č. 2*



*Obr. 2 Fotografie panelu č. 2[33]*

### 2.1.3. Třetí panel

Jako třetí panel byl vybrán Suntech STP 350 S-B60/Wnhb, monokrystalický složený ze stovceti článků, a to z důvodu zjištění, jestli je lepší variantou mít více malých panelů, které pokrývají stejný špičkový výkon.

Základní parametry panelu uvádíme v tabulce č. 3:

<b>Jmenovité napětí <math>U</math></b>	<b>V</b>	40,1
<b>Maximální proud při zatížení <math>I_{MAX}</math></b>	<b>A</b>	10,54
<b>Zkratový proud <math>I</math></b>	<b>A</b>	11,28
<b>Rozměry <math>vxšxh</math></b>	<b>mm</b>	1 776x1 052x35
<b>Hmotnost <math>m</math></b>	<b>kg</b>	20
<b>Účinnost modulu <math>\eta</math></b>	<b>%</b>	18,7
<b>Maximální výkon <math>P_{MAX}</math></b>	<b>W</b>	350
<b>Záruka výrobku od výrobce <math>t</math></b>	<b>rok</b>	12
<b>Aktuální cena</b>	<b>Kč</b>	3 178

Tabulka 3 Základní parametry panelu č. 3



Obr. 3 Fotografie panelu č. 3[35]

## 2.2. Nabíjení baterie

Nabíjení baterie je velmi důležitý proces, který umožňují regulátory. Ty poté připravují napětí z panelů, aby bylo přívětivé pro baterii. Např. maximální napětí pro baterii je 48 V, proto bude regulátor omezovat napětí, aby tuto hladinu nepřesáhlo a nepoškodilo baterie.

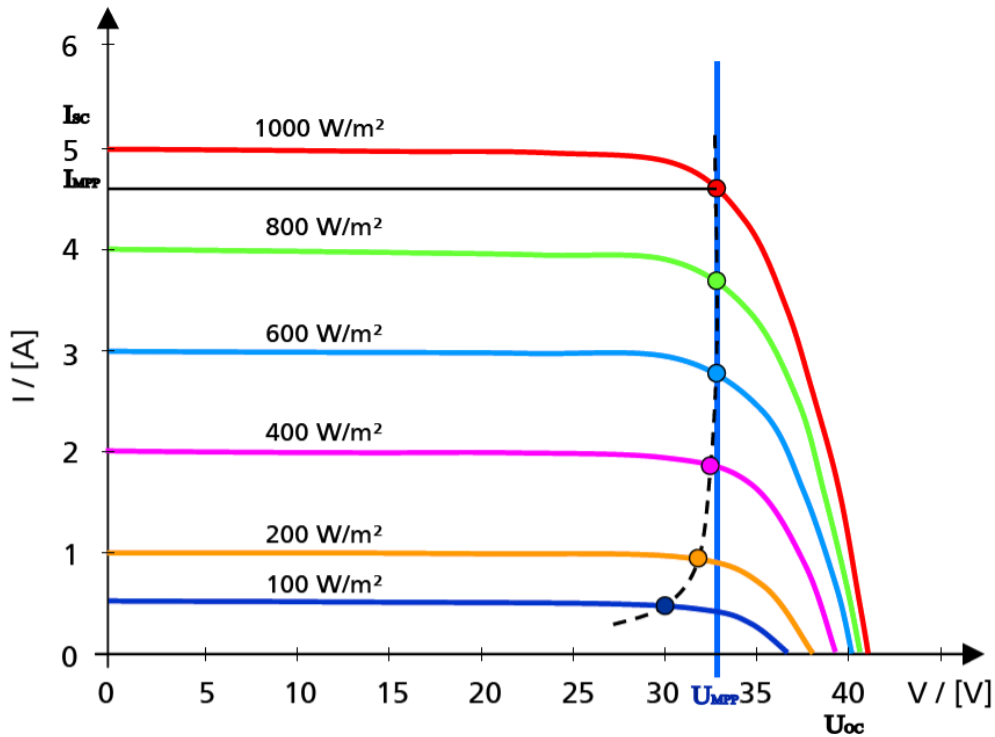
Existují dvě metody regulace. První metodou je Pulse Width Modulation zkráceně PWM česky Pulzně Šířková Modulace, druhou pak Sledování maximálního bodu výkonu zkráceně MPPT, anglicky Maximum Power Point Tracking. V následujících odstavcích bude vysvětleno, co tyto dvě zkratky znamenají a jakým způsobem fungují.

Začněme tím levnějším, zato o hodně méně efektivním PWM regulátorem. Poskytuje základní ochrany pro baterii, ochranu proti zkratu, přetížení, úplnému vybití nebo proti přepólování. Je vhodný pro malé solární elektrárny. Využívá takzvanou pulzně-šířkovou modulaci. Dle zadaného napětí ovlivňuje velikost šířky pulzu a tím mění střední hodnotu napětí na výstupu. Zde vznikají největší ztráty. Zapříčiňuje to důvod samotné podstaty PWM regulátoru, protože při zajištění správnosti pulzu spíná na hodnotu 0 a během této doby elektrárna negeneruje žádný výkon.

U druhého způsobu regulace jsme už na vyšší úrovni. Je to z toho důvodu, že regulátor pouze nezapíná a nevypíná, ale zajišťuje optimální zatížení panelů pro dodání maximálního výkonu do zátěže, který je až o 30 % vyšší než u PWM regulátorů. Regulátor zajišťuje optimální charakteristiky panelu pro získání maximálního výkonu, protože VA charakteristika panelu není lineární a výstupní výkon panelu je závislý jak na intenzitě osvětlení, tak na teplotě. V dnešní době se řešení z PWM prakticky nepoužívají, protože MPPT regulátory dosahují mnohem větší účinnosti. Regulátor sleduje takzvaný MPP bod na VA charakteristice panelu. Je to bod, kdy panel dosahuje maximálního výkonu.

## 2.3. Základní pojmy ve fotovoltaice

### 2.3.1. VA charakteristika FV panelu



Obr. 4 VA charakteristika FV panelu [21]

Na štítku FV panelu obvykle nalezneme tyto charakteristické údaje:

$P_{MPP}$  – jmenovitý výkon panelu, uvádí se hodnota změřená v bodě maximálního výkonu

$$P_{MPP} = U_{MPP} \cdot I_{MPP} [W; V; A]$$

1.1

$U_{MPP}$  – napětí při jmenovitém výkonu

$I_{MPP}$  – proud při jmenovitém výkonu

$U_{OC}$  – napětí naprázdno – napětí na fotovoltaickém panelu bez připojené zátěže

$I_{SC}$  – proud nakrátko – největší proud, který je panel schopen dodat

Max. System Voltage – nejvyšší systémové napětí, omezuje počet panelů, které lze zapojit v sérii, obvyklá hodnota je 1 000 V.

### MPP (Maximum Power Point)

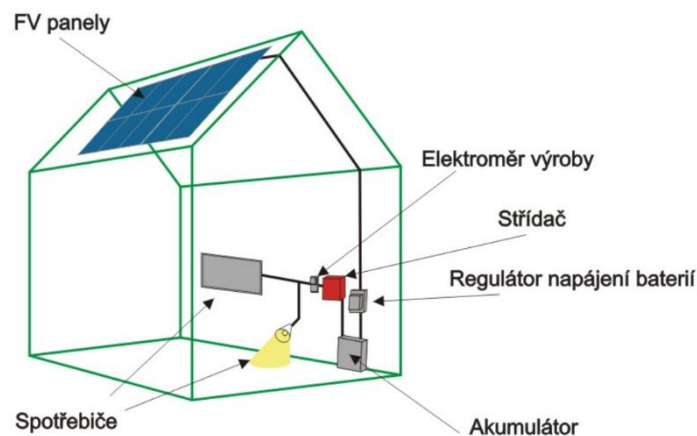
Je to na VA charakteristice bod, ve kterém dosahuje FV článek jeho maximálního výkonu. Dosažené napětí v tomto bodě se označuje  $U_{MPP}$  a proud  $I_{MPP}$ . Na charakteristice můžeme vidět více bodů při různé intenzitě záření.

### Pracovní bod

Na FV panelu je pracovní bod tam, kde panel pracuje. Tato poloha závisí na zatížení panelu a vlastnostech daných zátěží. Vždy se snažíme, aby tento bod byl totožný s bodem MPP. Panel může pracovat do zátěže nebo do akumulátoru.

#### 2.3.2. Ostrovní solární systém (OFF Grid)

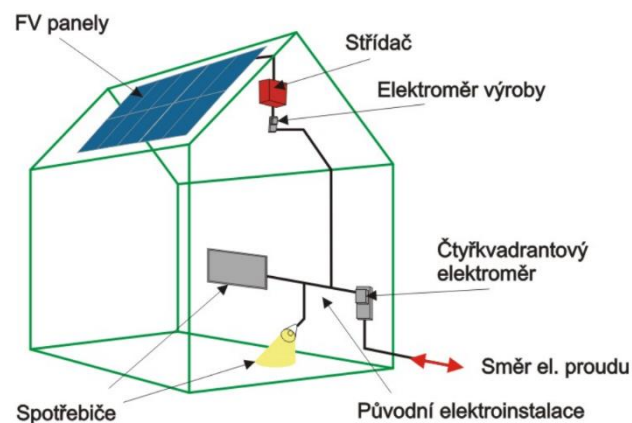
Ostrovní systémy nejsou připojeny na rozvodnou síť a zásobují tedy jen malou oblast, nebo jenom jeden spotřebič. Spotřebu limituje pouze vyrobená energie z fotovoltaického systému. Musíme při návrhu počítat se všemi okolnostmi jako je doba osvětlení, celková spotřeba i s účinností FV systému. Nemusí se to týkat pouze domácích objektů, jsou to i vesmírné stanice, kde dodávají energii.



Obr. 5 Ostrovní solární systém [14]

#### 2.3.3. Síťový solární systém (ON Grid)

Tyto systémy se odlišují od ostrovních tím, že jsou připojeny na rozvodnou síť. Funkčně to znamená, že při dostatku slunečního svitu a tím pádem dostatku elektřiny, elektrárna do sítě dodává. Naopak

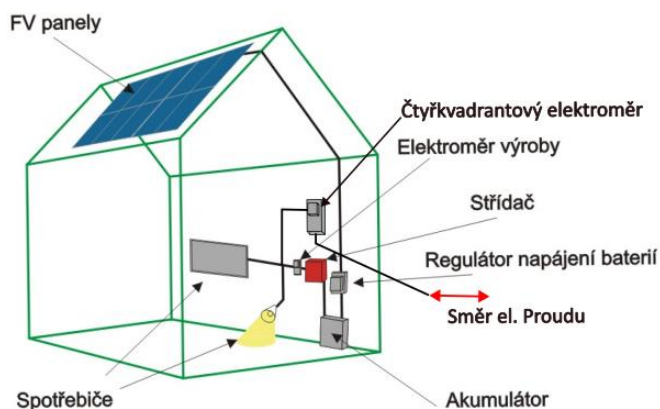


Obr. 6 Síťový solární systém [14]

v době nedostatku systém elektřinu ze sítě odebírá. Neobsahují žádný akumulční prvek. A tedy všechny přebytky jsou následně prodávány do sítě. Velká nevýhoda je při výpadku distribuční sítě, kde elektrárna je odpojena a nedodává žádný výkon.

#### 2.3.4. Hybridní systémy

Jeden z dalších typů je síťový systém doplněný o akumulaci elektrické energie. Je to spojení předešlých dvou systémů. Jakmile je energie dostatek, ukládá se do akumulčního zařízení. Nejčastěji jsou to bateriové úložiště pro akumulaci elektrické energie. Tato energie je následně dodávána zpátky do domovní stavby, kde pokrývá vlastní spotřebu. Velikou výhodou je, že se velké množství energie využije přímo v domácnosti. Nevýhodou hybridních systémů je cena za bateriové úložiště.



Obr. 7 Hybridní systém

#### 2.3.5. All in one

Tyto systémy jsou, vzhledem k umístění všech částí v jednom boxu, oblíbené mezi velkými společnostmi. Při práci na all-in-one systémech není vzhledem k jednoduchému zapojení zapotřebí velkých zkušeností a nehrozí chybná instalace systému. Při pořizování si musíme dát pozor na vysoké marže na montáž, které bývají skryty vzhledem k nižší pořizovací ceně. Systém se skládá z jednoho ovládacího celku bateriového úložiště a rozvaděčové skříně. Jeho nevýhodou je velká vlastní spotřeba a odběr ze sítě i při dostatku energie.

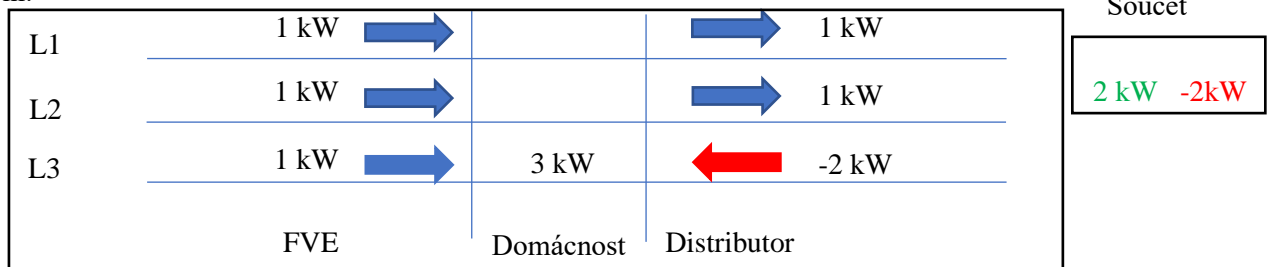
#### 2.3.6. Modulární řešení

Tyto sestavy už nejsou jednoduché na instalaci a už zde nelze jednoduše propojit jednotlivé komponenty. Proto se na to specializují menší firmy. Firmu, která zajišťuje modulární řešení, můžeme většinou nalézt na trhu i za 10-15 let. Pravděpodobně budou existovat i náhradní díly k modulárním řešením. Při změnách některých parametrů elektrárny stačí změnit jednotlivé komponenty, které potřebujeme. Spotřeba je většinou nižší z důvodu, že modulární systémy se navrhují na off grid (bez sítě). Měníče jsou navrženy na efektivní práci i při malých odběrech energie.

### 2.3.7. Fázové měření

Tato metoda spočívá v měření elektrického proudu, který prochází jednotlivými vodiči.

Můžeme si to vysvětlit na příkladu. FVE vyrobí 3 kW. Ve stejnou chvíli zapneme mikrovlnnou troubu, která má příkon 3 kW. Vyrobenou elektrickou energii symetrický měnič rozdělí rovnoměrně na 3 fáze do každé 1 kW. Mikrovlnná trouba spotřebuje 1 kW ze solární elektrárny a 2 kW si musí dokoupit od distributora. A elektrický výkon, který FVE vyrobila navíc (2 kW) se prodá distributorovi za nepříliš výhodnou cenu. V České republice byla tato metoda používána do roku 2011, kdy se přešlo na fázové měření.

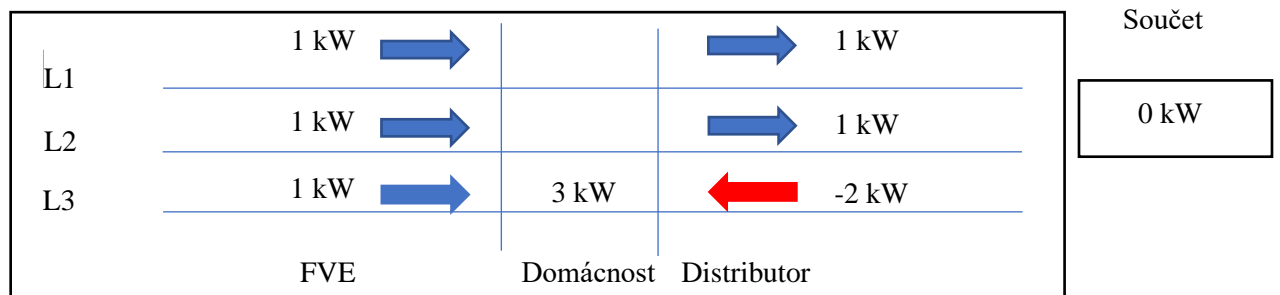


Obr. 8 Fázové měření

### 2.3.8. Součtové měření

Tato metoda spočívá v měření elektrického proudu, který prochází všemi vodiči současně.

Když použijeme stejný příklad s mikrovlnnou troubou o příkonu 3 kW a vyrobenou energií 3 kW. Symetrický měnič rozdělí elektrickou energii na 3 fáze. Mikrovlnná trouba spotřebuje 1 kW ze solární elektrárny a 2 kW si vezme od distributora, ale díky součtovému měření bude na elektroměru 0. Proto je tato metoda pro distributora méně výhodná, ale pro odběratele je tomu právě naopak.



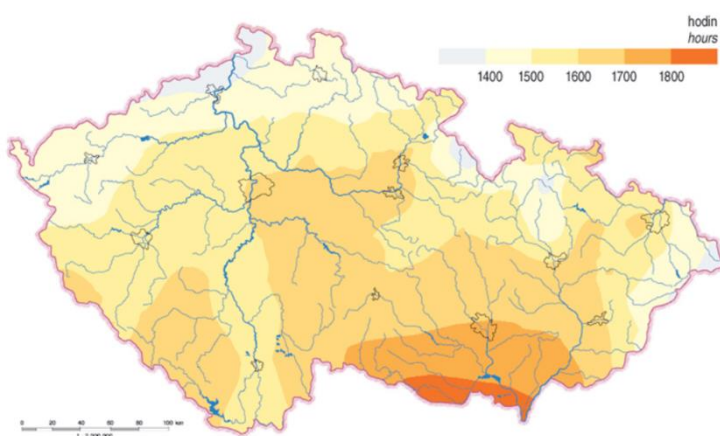
Obr. 9 Součtové měření

### 3. Návrh fotovoltaické elektrárny

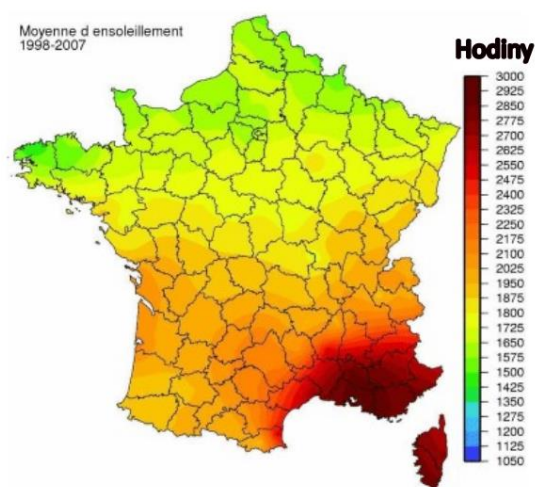
Při návrhu je nutné zvážit využití sluneční energie a její potenciál v dané lokalitě, kde bude elektrárna pracovat. Probereme si i základní princip a výrobu článků, abychom mohli elektrárnu co nejlépe optimalizovat.

#### 3.1. Sluneční energie

Co ovlivňuje sluneční energii, která dopadne na zemský povrch? Je to zejména zeměpisná poloha, kde se dané místo, v našem případě elektrárna, nachází. Orientace elektrárny vzhledem ke slunci, celková doba osvitů i nadmořská výška. Podmínky pro využití solárního energie v České republice jsou průměrné.



Obr. 11 Doba slunečního svitu ČR [16]



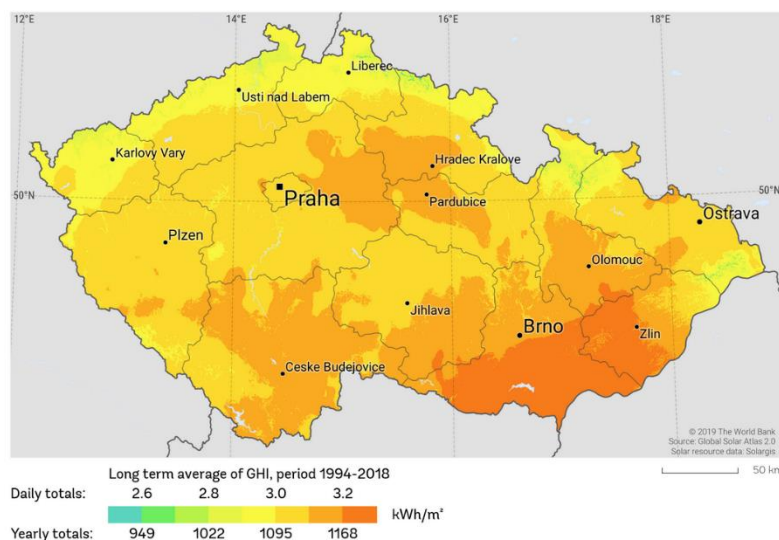
Obr. 10 Doba slunečního svitu ve Francii [4] [6]

Celková doba slunečního svitu je od 1430 hodin do 1750 hodin za rok. V porovnání např. s Francií, kde je doba osvitů 1500 až 3000 hodin za rok.

Nejlépe můžeme vyhodnotit osvit z dlouhodobého průměru na ČR. Z obrázku 9 můžeme odečíst hodnotu mého bydliště 1080 – 1120 kWh·m<sup>-2</sup>. Jde o přibližnou hodnotu osvitů, která dopadne na jeden metr čtvereční za rok, z čehož největší část (přibližně 70 %) v letních měsících.



Tyto údaje jsou důležitým faktorem pro návrh fotovoltaického systému. Když víme, kolik dopadne slunečního svitu na 1 m<sup>2</sup> a známe účinnost fotovoltaického panelu, můžeme se zaokrouhlením říct, že dostaneme z této plochy asi 280 – 330 kWh elektrické energie za rok.



Obr. 12 Dlouhodobý průměr ozáření za rok v ČR [16]

### 3.2. Orientace fotovoltaických panelů

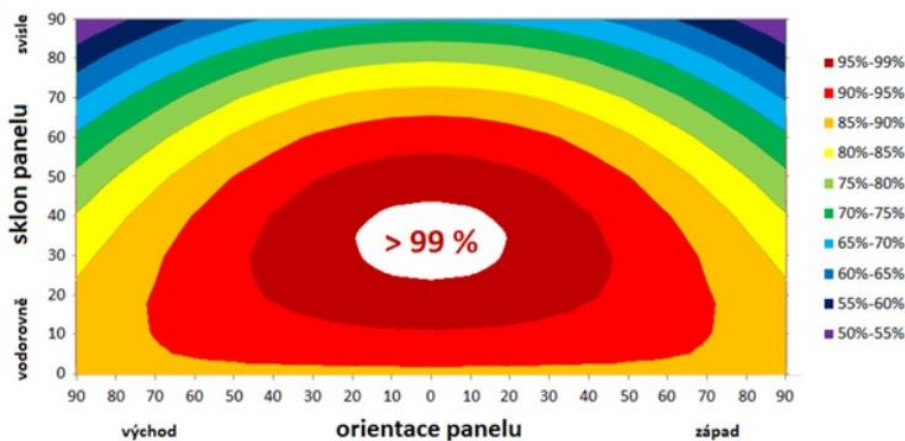
Orientace panelů je pro maximalizaci výroby zásadní. Panely chceme umísťovat na jih, kde je jejich výroba dlouhodobě největší. Další dobrou volbou je orientace JZ nebo JV. JZ orientace vyrábí více elektrické energie z důvodu větší oblačnosti v dopoledních hodinách a tím pádem většího potenciálu na výrobu. Nejhorší orientace je na sever, která má malý sluneční svit.

### 3.3. Sklon fotovoltaických panelů

Nejvíce elektrické energie panel vyrobí při slonu 35°. Avšak sklon panelů není nijak kritický, a proto se v dnešní době panely a jejich sklony nijak nemění a umísťují se paralelně se střešní krytinou. Takové řešení je ekonomicky výhodné i na první pohled příjemné.

Na sklonu hlavně záleží při možnosti, že by mohl být panel v určitou dobu stíněn dalším stojícím objektem. V takovém případě se sklon upraví tak, aby panel byl stíněn co nejméně. Akceptovatelná odchylka orientace střešní plochy od jihu se při optimálním sklonu pohybuje kolem  $\pm 45^\circ$ , kdy dochází k poklesu do 5 % celoročního výnosu, případně až  $\pm 70^\circ$  při poklesu kolem 10 %. (viz. obrázek pod textem)

Jsou zde i možnosti panely instalovat pod úhlem 90° v orientaci východ-západ. Tyto panely mají zrovnomenit výrobu během celého dne, a to díky tomu, že jejich špičkový výkon je dopoledne a následně odpoledne. V poledne je výroba minimální. Jejich výhodou je potřeba minimální údržby a dvojího využití. Dají se používat jako kompenzátory denních špiček a jako protihlukové stěny.



Obr. 13 Výnos energie v závislosti na sklonu a orientaci panelu [5]

### 3.4. Fotovoltaická přeměna

Nejprve si řekněme, kde vzniká přeměna energie z elektromagnetického záření na energii elektrickou. Dochází k tomu v polovodičových fotovoltaických člancích. Jako nejběžnější považujeme PV články na bázi křemíku. Proto podstatu fotovoltaického děje vysvětlím právě na nich. Pro PV články na bázi jiných polovodičů je princip stejný.

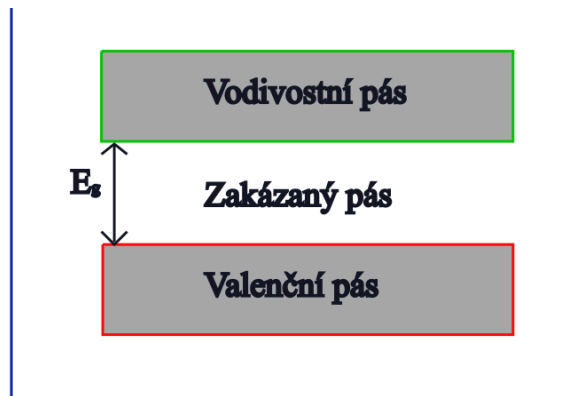
#### 3.4.1. Polovodiče typu N

Polovodič typu N vzniká po přidání páté skupiny prvků jako jsou (P, As, Sb), které mají pět valenčních elektronů, do krystalové mřížky křemíku. Čtyři z nich jsou vázány kovalentní vazbou s nejbližšími atomy Si. Pátý elektron bude vázán slabě k atomu příměsi. Když dodáme energii ve formě tepla nebo světla, elektron se uvolní a přechází do vodivostního pásu. Po vložení do elektrického pole dochází k vedení elektrického proudu. Tyto prvky páté skupiny se nazývají donory a dodávají volné elektrony (majoritní), díry jsou zde minoritní.

#### 3.4.2. Polovodiče typu P

Polovodič typu P vzniká po přidání třetí skupiny prvků, do které patří (B, Al, Ga), do krystalové mřížky křemíku. Tyto prvky mají tři valenční elektrony. Jedna vazba je nezaplněna, takže se chová jako díra. V důsledku dodání tepla může do nezaplněné vazby přeskočit valenční elektron od sousedního atomu Si a díra se pohybuje krystalem. Tyto prvky třetí skupiny se nazývají akceptory. Elektrony jsou zde minoritní a díry majoritní.

### 3.4.3. Pásky energie



Obr. 14 Pásová struktura [9]

Vodivostní pásky a jejich velikosti můžeme rozdělovat do tří skupin.

První skupinou jsou vodiče, kde se valenční a vodivostní pásky překrývají. Nebo vznikne velmi malý zakázaný pás.

Druhou skupinou jsou izolanty. Jejich zakázaný pás je široký  $E_g > 5$  eV. Aby mohl elektron cestovat, je nutné dodat velmi velkou energii. Po působení takto velké energie dochází k poruchám krystalické mřížky, což je možné pozorovat na případném poškození nebo spálení izolantu.

Třetí skupinou jsou polovodiče. S rostoucí teplotou roste jejich vodivost. Při  $T = 0$  K je vodivost nulová. Energie nutná pro překročení zakázaného pásu je menší než  $E_g < 3$  eV.

### 3.4.4. Druhy excitací

K excitaci dochází po dodání nějaké formy energie, zejména tepla nebo světla. Je to přechod energetické hladiny elektronu na vyšší energetickou hladinu.

#### 3.4.4.1. Excitaci dělíme na:

- a) Tepelná excitace – kladné ionty krystalové mřížky neustále kmitají kolem svých rovnovážných poloh. Při pokojové teplotě se uvolňuje velice málo elektronů. Po ohřátí počet uvolněných elektronů narůstá.
- b) Světelná excitace – elektron získává energii dopadem elektromagnetického záření.
- c) Excitace silným elektrickým polem – je za pokojových teplot nepřijatelná. Došlo by ke zničení polovodiče.

### 3.4.5. Princip fotovoltaické přeměny energie

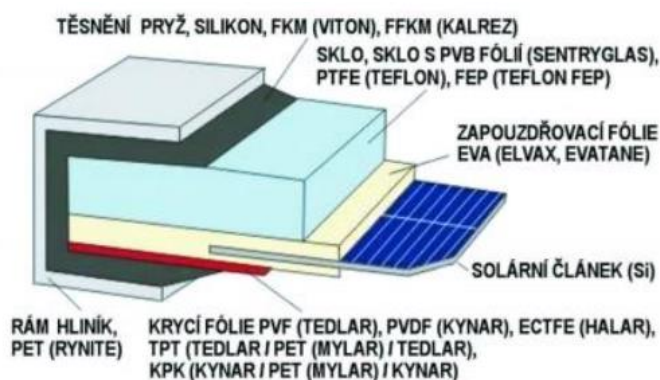
K této přeměně dochází ve fotovoltaických člancích, kde se energie dopadajících fotonů přeměňuje na elektrickou energii. V podstatě je to velká plochá dioda, kdy je přechod PN orientovaný kolmo k čelní ploše mezi přední a zadní stranou. Fotony s větší energií, než energie odpovídající šířce zakázaného pásu generují páry elektron-díra. Takže odevzdávají svoji energii a pohlcují se. Případné přebytky

energie předají kmitům mřížky a mění se na teplo. Páry, které se tvoří v oblasti PN přechodu, jsou odděleny elektrickým polem mezi vázanými a prostorovými náboji. Díry jsou urychlovány ve směru pole. Elektrony jsou urychlovány proti směru pole. Mezi póly PN přechodu se objevuje napětí. Po následném připojení do elektrického obvodu začíná procházet elektrický proud.

### 3.5. Modul fotovoltaického článku

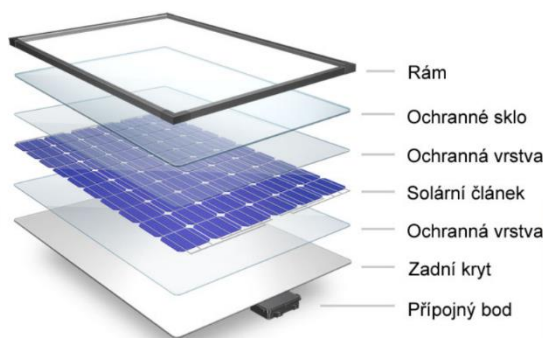
Samostatný fotovoltaický článek je k používání nevhodný, protože generuje nízké napětí a proud. Ve všech případech běžného použití se používá fotovoltaický modul, který je složený z vhodné kombinace sériově – paralelně zapojených fotovoltaických článků. Moduly slouží k ochraně před atmosférickými vlivy (kroupy, déšť...) a mechanickými vlivy (při přepravě, montáži...). Zároveň tvoří optimální místo na výrobu elektrické energie. Díky tomu dosahují panely vysoké životnosti.

Na obrázku vidíme složení fotovoltaického modulu.



Obr. 15 Modul fotovoltaického článku [14]

Rám modulu je většinou z hliníku. Tento materiál dosahuje požadované pevnosti a hmotnosti. První vrstva je velice důležitá. Chrání panel před atmosférickým tak i přepravním poškozením. Následně je na solární článek nanášena laminační fólie EVA (ethylen – vinyl – acetát) a pomocí tepla zatavena. Pod solárním článkem je zadní kryt, nejčastěji to bývá plast.



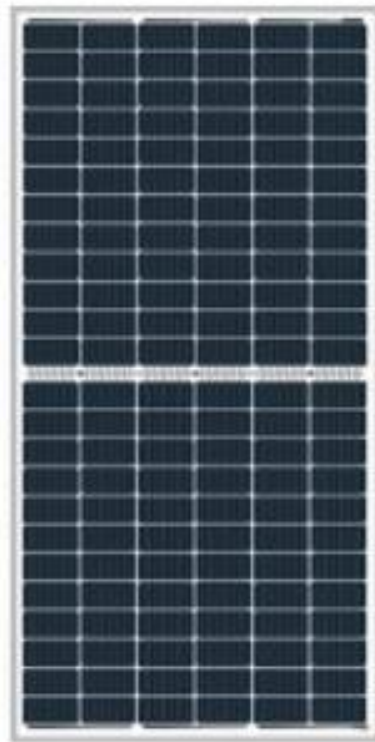
Obr. 16 Modul fotovoltaického článku [11]

### 3.6. Základní druhy FV – panelů

Fotovoltaické panely jsem rozdělil do 3 skupin.

#### 3.6.1. Monokrystalické solární panely

Tzv. články první generace. Disponují vysokou účinností a stabilním výkonem. Způsob jejich výroby býval velmi nákladný, protože je zde zapotřebí velké množství čistého křemíku.



*Obr. 17 Monokrystalický panel [25]*

Tyto panely mají charakteristický rys vzhledem k tomu, jak jsou vyráběny. Vyrábějí se z tenkých plátů křemíku tzv. waferů následujícím postupem. Z roztaveného křemíku se pomocí Czochralského metody vytáhne ingot z taveniny v určitém tvaru. Následně je tento ingot rozřezán speciální drátovou pilou na jednotlivé pláty o velikosti 0,25 - 0,35 mm. Proběhnou potřebné úpravy a přechod PN vzniká napařením tenké vrstvy fosforu na wafer.

Tyto články mají barvu tmavě modrou až černou.

#### 3.6.2. Polykrystalické solární panely

Tzv. články druhé generace. Tyto panely mají menší účinnost. Výroba není tak nákladná na křemík.

Metoda výroby je účinnější, články se vyrábějí jako tenkovrstvé a díky tomu není třeba takové množství křemíku. Čistý křemík se odlévá do forem, kde vystydně. Poté je ingot nařezán na destičky. Formy mají většinou čtvercový tvar. Můžou být i obdélníkové. Účinnost je zde nižší kvůli tomu, že při styku jednotlivých krystalků vniká přechodový odpor. A díky velkému množství krystalů je odpor nezanedbatelný.

Hlavní výhodou je levnější a jednodušší výroba bez potřeby tažení ingotu. Články mají modrou barvu.



*Obr. 18 Polykrystalický panel [23]*

### 3.6.3. Amorfní fotovoltaické panely

Články, které rovněž řadíme do tzv. druhé generace, můžeme zařadit do tenkovrstvých článků. Jejich výhodou je oproti již výše zmíněným značné zmenšení spotřeby materiálu na jejich výrobu, což vede i ke zlevnění panelů.

Tato metoda výroby spočívá v rozkladu vhodných sloučenin křemíku ve vodíkové atmosféře. Díky tomu můžeme vyrábět i velmi tenké vrstvy křemíku. Tato vrstva křemíku je amorfní, tedy nemá pravidelnou krystalickou strukturu a obsahuje určité množství vodíku. Je zde možnost vyrábět i ohebné články, které mají své využití jako krycí folie na střeche.

Velkou nevýhodou je jak jejich účinnost, která je nízká někde kolem 7 – 8 %, tak jejich nestabilita, kterou způsobuje přítomnost vodíku.



*Obr. 19 Amorfní panel [2]*



### 3.7. Spotřeba elektrické energie

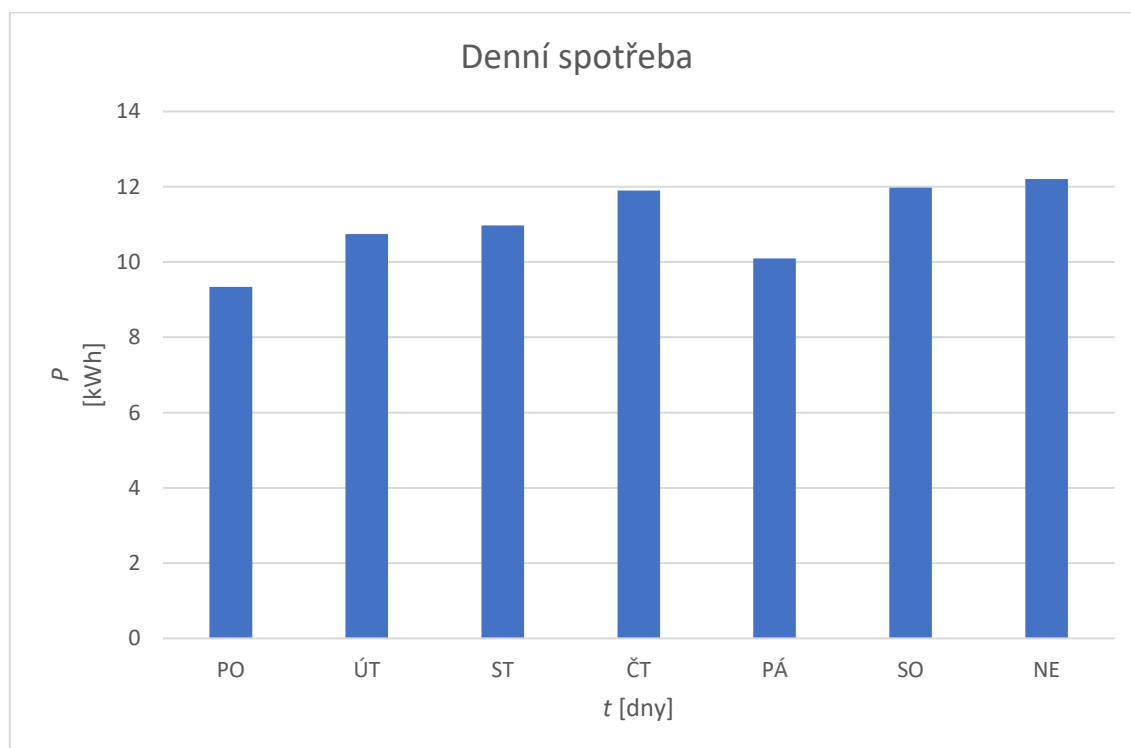
Dalším parametrem návrhu je spotřeba a využití elektrické energie v domácnosti.

Spotřebič	Celková spotřeba (kWh·rok <sup>-1</sup> )
Chladnička	253
Pračka	82,5
Mraznička	222
Myčka nádobí	655
Televize	182
Počítač 3x	1 100
Obráběcí zařízení	75
Vysavač centrální	50
Vysavač pracovní	75
<b>Celkem</b>	<b>2 694,5</b>

Tabulka 4 Spotřebiče v domácnosti

V této tabulce jsou uvedeny nejpoužívanější spotřebiče v domácnosti. Je to jejich teoretická průměrná spotřeba za rok. Sečtená celková spotřeba domácnosti je 2 694,5 kWh. Když bychom uvažovali o osvětlení v domácnosti, nabíjení telefonu a dalších spotřebičích, celková spotřeba by vzrostla o 15 %.

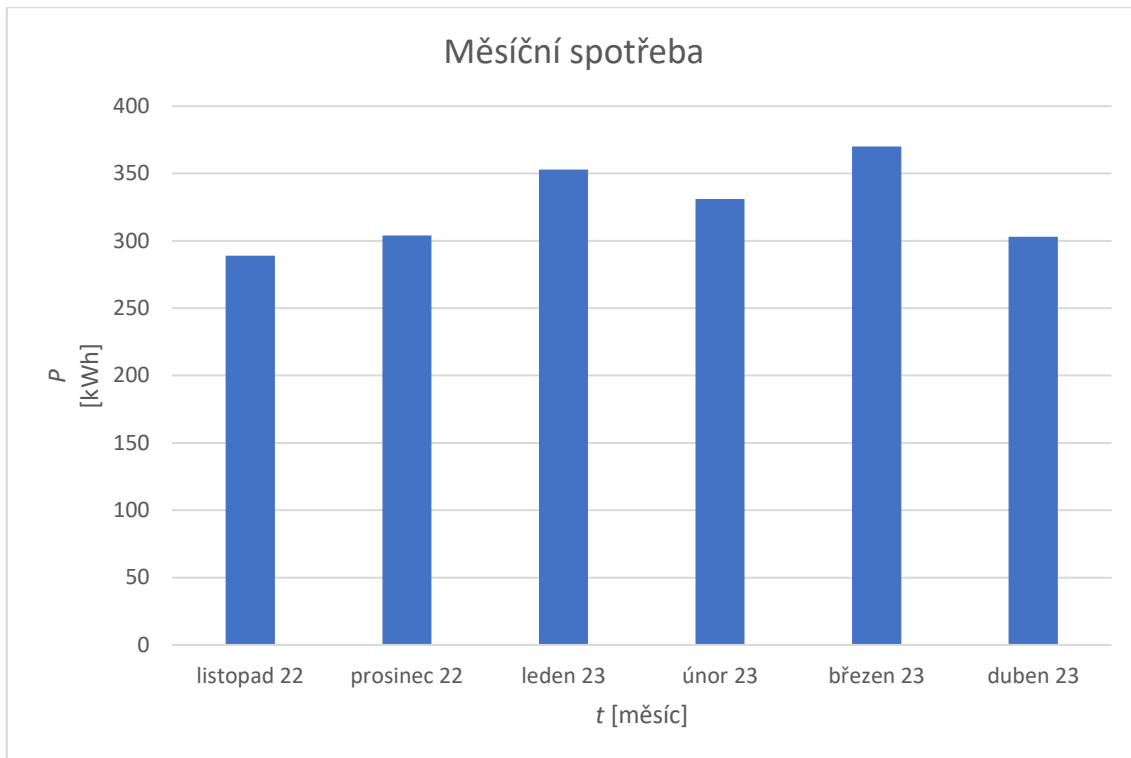
#### 3.7.1. Spotřeba v jednotlivé dny



Graf 1 Týdenní spotřeba

Z grafu 1 vidíme, že spotřeba domácnosti je různorodá. Záleží na faktorech, které musíme vzít v úvahu. Tedy jaké spotřebiče jsou využívány nebo počet osob ve sledovaném objektu. Z týdenní spotřeby je velice těžké něco vyčíst.

### 3.7.2. Spotřeba měsíční změřená vlastníkem



Graf 2 Měsíční spotřeba

Pro naši studii si vybereme data z grafu měsíční spotřeby elektrické energie, ze kterého můžeme určit průměrnou měsíční spotřebu a ta činí 325 kWh. Tato spotřeba je změřená a můžeme podle ní dimenzovat naši FVE.

### 3.7.3. Roční spotřeba elektřiny v domácnosti

Roční spotřeba domu za kalendářní rok činila celkově 3 371 kWh. Z toho bylo spotřebováno elektrické energie ve vysokém tarifu 2 431 kWh a 940 kWh při tarifu nízkém. Domácnost zaplatila po přidání poplatků a regulovaných služeb za elektřinu 14 779 Kč. Z toho za silovou elektřinu nízkého a vysokého tarifu 6 765 Kč. Kde za 1 kWh bylo placeno 1,91 Kč a za vysoký tarif a za 1,13 Kč za nízký tarif.

### 3.7.4. Spotřeba plynu v domácnosti

Ve sledované domácnosti se používá plyn pro vytápění centrálním plynovým kotlem. Také se plyn využívá na vaření a ohřev potravin. V objektu se spotřebovalo za rok 602 m<sup>3</sup> plynu. Po přidání všech poplatků a regulovaných služeb zaplatil objekt za plyn 7 430 Kč. V blízké budoucnosti má majitel v plánu nahrazení této komodity různými alternativními řešeními, aby se zmenšila spotřeba plynu v domácnosti.



## 4. Vlastní návrh FVE

K dispozici jsou různé metody pro návrh FVE, z nichž dvě budou použity v této práci.

První metoda se bude věnovat návrhu pomocí dostupného programu na internetu PVGIS. Tato metoda umožňuje přesné stanovení výkonu FVE na základě geografické polohy a umístění panelů. Používá komplexní algoritmy a databáze slunečního záření pro přesné určení výkonu FVE. Pomocí této metody lze vytvořit přesný a efektivní návrh FVE, který je optimalizován pro danou lokalitu.

Druhá metoda, návrh dle normy, se řídí standardními postupy pro návrh a instalaci FVE. Tato norma stanovuje minimální požadavky na kvalitu a výkon FVE a poskytuje vodičko pro výpočet potřebného výkonu. Tato metoda se často používá pro menší FVE nebo v oblastech se střední úrovní slunečního záření.

Obě metody mají své výhody a nevýhody a je důležité zvolit tu správnou pro danou situaci. Použití obou metod v kombinaci může vést k optimálnímu návrhu FVE, který bude výkonný, úsporný a přizpůsobený danému místu i potřebám uživatele.

### 4.1. Teoretický výpočet výroby elektrické energie FVE

Produkcí elektrické energie z FVE se můžeme dozvědět více či méně složitým způsobem. Záleží pouze na projektantech FVE, aby si zvolili složitost svého výpočtu. Projektanti potřebují jednoduchý výpočetní nástroj, který by po dosažení určitých dat vyhodnotil přínos systému. Zároveň potřebují jednoduché a spolehlivé nástroje, které počítají přímo s jejich výrobky. V praxi se nepoužívají složité matematické modely. Jejich výpočet by trval dlouho a nepřinesl by požadovaný výsledek.

#### 4.1.1. Výpočet vyrobené energie dle normy:

V ČR se používá metodika výpočtu dle normy ČSN EN 15316-4-3 (060401) Energetická náročnost budov – Metoda výpočtu potřeb energie a účinností soustav – Část 4-3: Výroba tepla, solární tepelné a fotovoltaické soustavy, Modul M3-8-3, M8-8-3, M11-8-3, jde o jednoduchý a rychlý postup, který stanovuje roční produkci výroby elektrické energie z FVE pouze na základě jeho špičkového výkonu. Elektrickou energii můžeme spočítat hodinově, měsíčně nebo ročně. Proto si tento postup představíme.

Elektrická energie dodaná v měsících se stanoví takto:

$$E_{out} = \frac{E_{sol} \cdot P_{pk} \cdot f_{per}}{I_{ref}} \quad 3.2$$

kde je:

$E_{out}$  - Elektrická energie dodaná solárním systémem [kWh·měsíc<sup>-1</sup>]

$E_{sol}$  - Měsíční dávka slunečního záření dopadající na solární systém [kW·m<sup>-2</sup>·měsíc<sup>-1</sup>]

$P_{pk}$	- Špičkový výkon FV systému	[kW]
$f_{per}$	- Činitel výkonnosti FV systému	[-]
$I_{ref}$	- Referenční sluneční ozáření rovné 1 kW·m <sup>-2</sup>	[kW·m <sup>-2</sup> ]

Špičkový výkon se získá z parametrů FV pole při standardních testovacích podmínkách dále už (STC): 25 °C, 1 kW·m<sup>-2</sup>, AM = 1,5. Pokud špičkový výkon FV systému není k dispozici tak může být vypočten ze vztahu:

$$P_{pk} = K_{pk} \cdot A_{FV} \quad 3.3$$

kde je:

$P_{pk}$	- Špičkový výkon FVS	[kW]
$K_{pk}$	- Součinitel špičkového výkonu	[kW·m <sup>-2</sup> ]
$A_{FV}$	- Celková plocha, která se podílí na FV přeměně (bez rámu)	[m <sup>2</sup> ]

Součinitel špičkového výkonu nám určuje referenční účinnost fotovoltaického modulu. Hodnoty jsou uvedeny v normě. Pro moduly z monokrystalického křemíku se jedná o hodnoty 0,12 až 0,18 kW·m<sup>-2</sup> v případě amorfního modulu 0,04 až 0,08 kW·m<sup>-2</sup>. A pro doplnění modul polykrystalického křemíku 0,1 až 0,16 kW·m<sup>-2</sup>. Nejvyšších hodnot špičkového výkonu dosahují panely z monokrystalu.

Činitel výkonnosti FV systému nám zohledňuje výkonnost FV instalace integrované na budově. Stanovuje se na základě přeměny stejnosměrného proudu na proud střídavý. Závisí na provozní teplotě a integraci fotovoltaického modulu do budovy. Norma udává hodnoty pro různé umístění modulů. Pro nevětrané moduly volíme koeficient 0,70, pro mírně větrané moduly 0,75 a pro silně větrané moduly nebo nuceně větrané moduly 0,80.

Pro výpočet dávky slunečního ozáření  $E_{sol}$  fotovoltaických modulů použijeme 3.4 v těch případech, kde to bude nutné.

$$E_{sol} = E_{sol.hor.m} \cdot f_{ttt,m} \quad 3.4$$

kde je:

$E_{sol.hor.m}$	- měsíční dávka slunečního ozáření vodorovné roviny geografické oblasti v měsíci m [kWh·m <sup>-2</sup> ·měsíc <sup>-1</sup> ]
$f_{ttt,m}$	- činitel sklonu a orientace pro uvažovaný měsíc [-]

## 4.2. Návrh PVGIS

### 4.2.1. Návrh pomocí PVGIS s připojením na síť

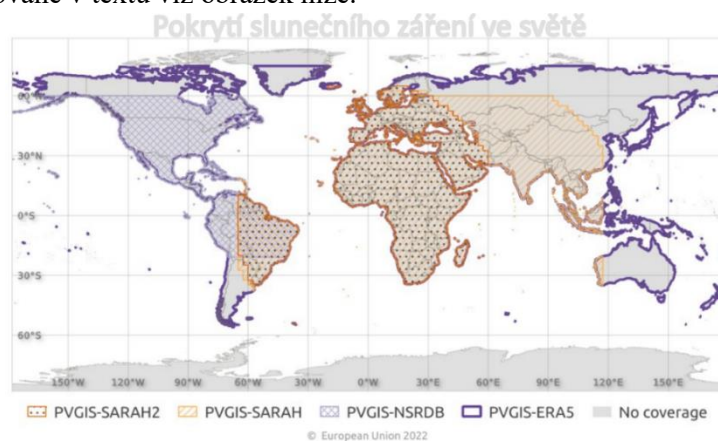
Metoda PVGIS počítá s 8 základními vlastnostmi FV systému. Tyto parametry následně zadává uživatel a jsou rozděleny do tří částí. V první části zadáváme umístění uvažovaného systému, tedy zeměpisnou šířku a délku, následně pak výpočetní databázi, se kterou bude program pracovat. Ve druhé části zadáváme elektrické parametry elektrárny, ve třetí části polohu pro její instalaci.

Autorem práce byly vloženy tyto parametry: Jako databázi slunečního záření jsme vybrali PVGIS-SARAH, protože obsahuje parametry námi zkoumané oblasti viz obr. 20. Jako další parametr volíme FV technologii. Model rozlišuje tři druhy technologií krystalické křemíkové články, tenkovrstvé moduly vyrobené z CIS nebo CIGS, tenkovrstvé moduly vyrobené z teluridu kadmia (CdTe). Model u těchto vybraných panelů bere v úvahu ztráty vniklé teplem. Zvolíme křemíkové články. Následně se zadávají celkové systémové ztráty. Existuje zde několik příčin této ztráty, jako jsou ztráty v kabelech, výkonových měničích, nečistoty (někdy sníh), také při přenosu a při přeměně. Výši uvažovaných ztrát volíme 13,5 %. Jako další parametr je žádaný maximální možný dodávaný výkon FVE je 9,1 kWp. Mezi další parametry se řadí umístění panelů přesněji, jestli jsou umístěné jako volně stojící na stojanu nebo jsou spojeny/integrované do budovy. Tento parametr má vliv na proudění vzduchu a na následné chlazení panelů. Pro tento parametr volíme spojeny/integrované do budovy. Následně se zadají parametry sklonu panelů pod úhlem 40° a orientací -5° na jih.

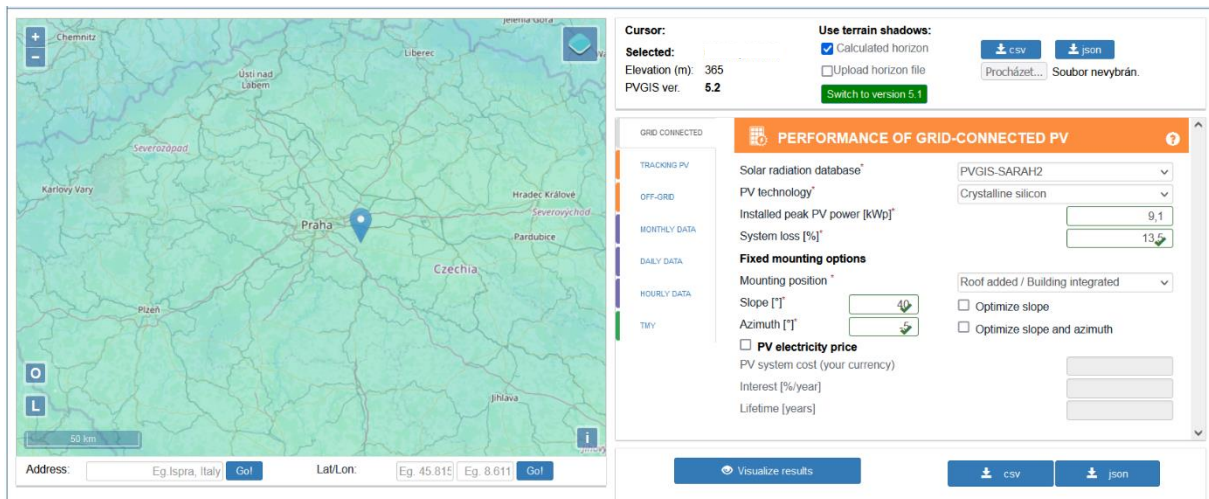
Výpočet výkonu P podle modelu PVGIS:

$$P = G_z \cdot P_{pk} \cdot eff_{rel}(G_z, T_m) \quad 3.5.$$

Kde  $G_z$  je úhrn globálního záření na 1 m<sup>2</sup>,  $P_{pk}$  je instalovaný výkon,  $eff_{rel}$  je účinnost relativní konverze  $eff_{rel}(G_z, T_c)$  je funkce, se kterou systém pracuje. Výše  $eff_{rel}(G_z, T_c)$  je funkcí  $G_z$  a  $T_c$  tyto parametry jsou uvedené na stránce [30]. Tudíž výpočet simulace bere v úvahu změny účinnosti v závislosti na teplotě a intenzitě globálního záření. Výstupem ze simulace jsou hodnoty měsíční velikosti  $G_z$  a  $P$ . Hodnoty okomentované v textu viz obrázky níže.



Obr. 20 mapa a pokrytí slunečního záření jednotlivých oblastí [10]

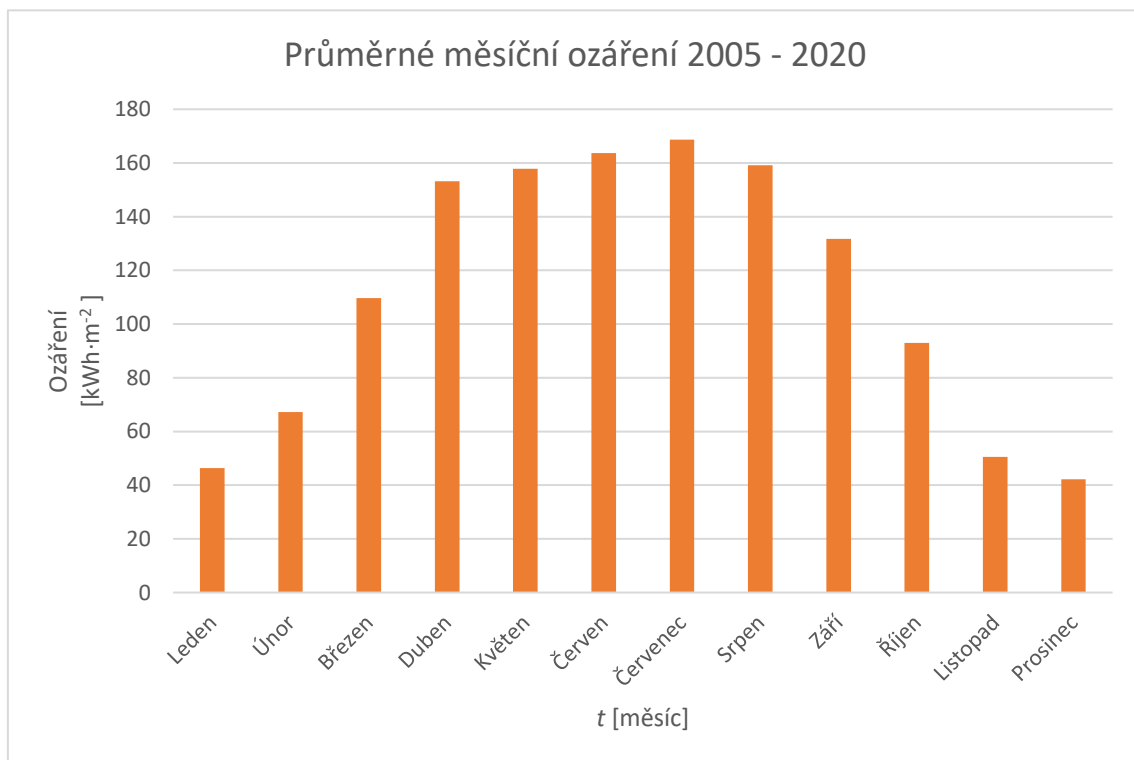


Obr. 21 Vložení do simulace PVGIS[22]

#### 4.2.1.1. Výsledek ze simulace s připojením na síť

Výsledkem simulace jsou dva grafy. První graf, ve kterém je znázorněno měsíční ozáření povrchu FVE, ve druhém grafu je velikost výstupního elektrického výkonu FVE v jednotlivých měsících.

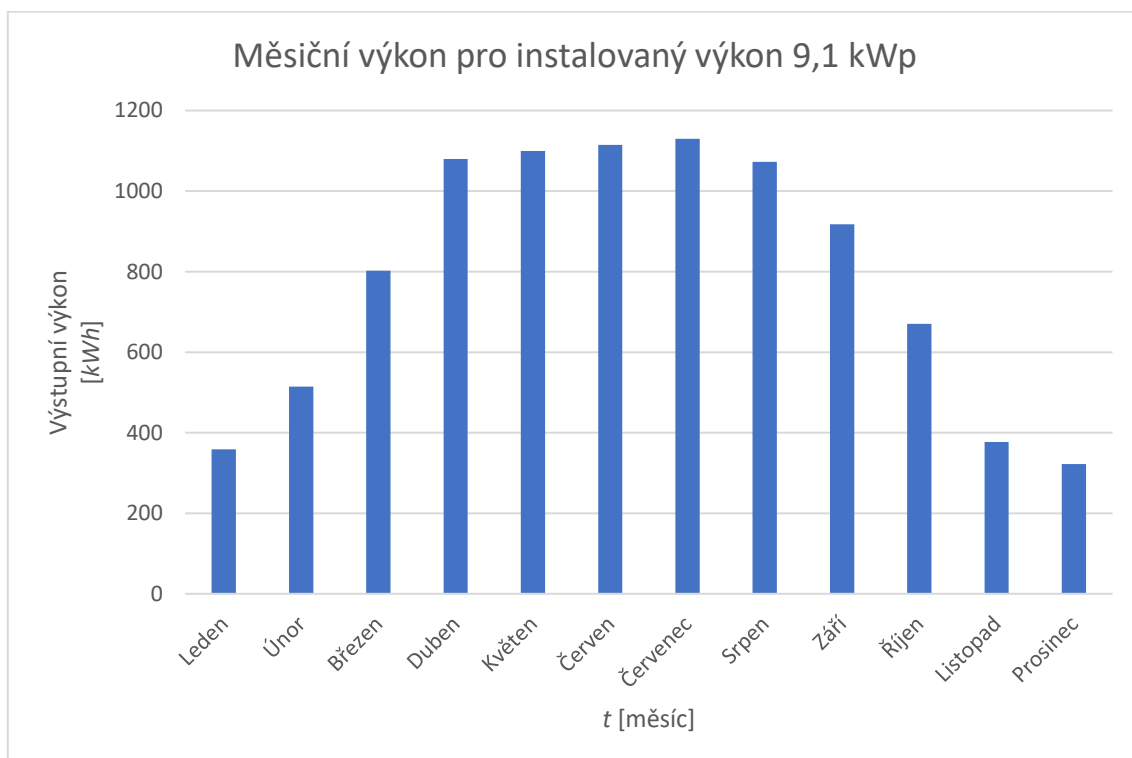
Z grafu 3 vidíme, jak se záření mění v průběhu roku. V zimních měsících je záření nejmenší oproti letním měsícům, ve kterých se dostáváme až na třikrát větší hodnoty než v zimním období.



Graf 3 Měsíční ozáření

V grafu 4 je vidět, jakým způsobem se výstupní výkon mění v závislosti na ročním období. Z grafu odečteme maximální výkon, tedy měsíc červenec, jehož hodnota je 1 129,83 kWh a taktéž nejmenší hodnotu za prosinec, která činí 321,95 kWh. Lze ještě spočítat celkový výkon dodávaný elektrárnou, který činí 9 459,91 kWh.

Celkový výkon ovlivňují ztráty. V nich jsou zahrnuty systémové ztráty, úhel dopadu, spektrální efekty, teplota, nízké ozáření atd. Jako koncoví zákazníci můžeme nejvíce ovlivňovat systémové ztráty, protože do nich patří ztráty způsobené nečistotami na panelech (sníh, pyl, prach). Dobrou údržbou panelů se snižují tyto ztráty a zvyšuje se výstupní výkon.



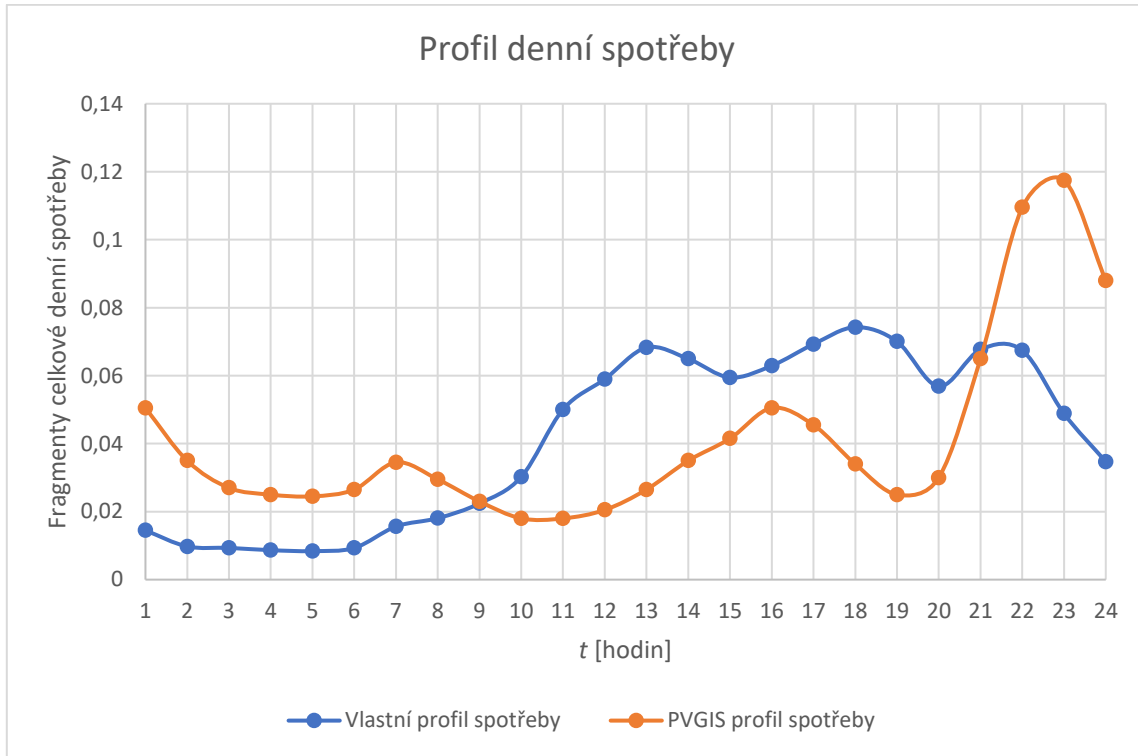
Graf 4 Měsíční výkon pro instalovaný výkon 9,1 kWp

#### 4.2.2. Návrh FVE pomocí PVGIS v ostrovním režimu

PVGIS nám umožňuje navrhnout FVE, která není připojená na síť. Stávající elektrárna zatím nemá možnost dodávat energii do sítě. Proto využijeme také této možnosti pro porovnání dat a následné zhodnocení elektrárny, která je připojena na síť on-grid oproti off-grid systému.

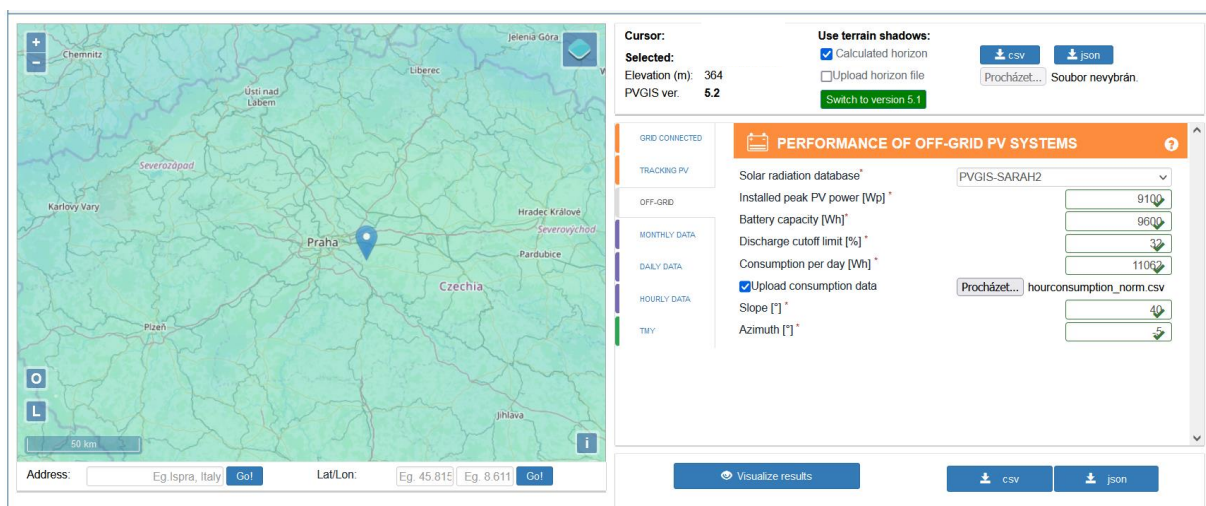
Tato metoda počítá s osmi základními parametry FV systému, které jsou následně použity k výpočtu. Používáme stejné parametry jako u předchozí metody ale se změnami ve druhé části, kde je potřeba zadat velikost bateriového úložiště s limitem, pod který baterie nemůže klesnout, díky čemuž se prodlouží její životnost. V programu je předzadaný profil denní spotřeby, který lze nahradit vlastním. Třetí část zadávaných parametrů zůstává totožná.

Autorem práce byly vloženy tyto parametry. Kapacita bateriového úložiště je 9 600 Wh. Procentuální limit, pod který nabití baterie nemůže klesnout, zvolíme 32 %. Mezi měněné parametry patřil i profil spotřeby. Vlastní denní spotřebu zadáme na základě výpočtů ve výši 11 062 Wh. V grafu 5 je vidět, jak vypadá profil spotřeby od PVGIS a jak vypadá profil spotřeby, dále (PS), domácnosti.



Graf 5 Profil denní spotřeby

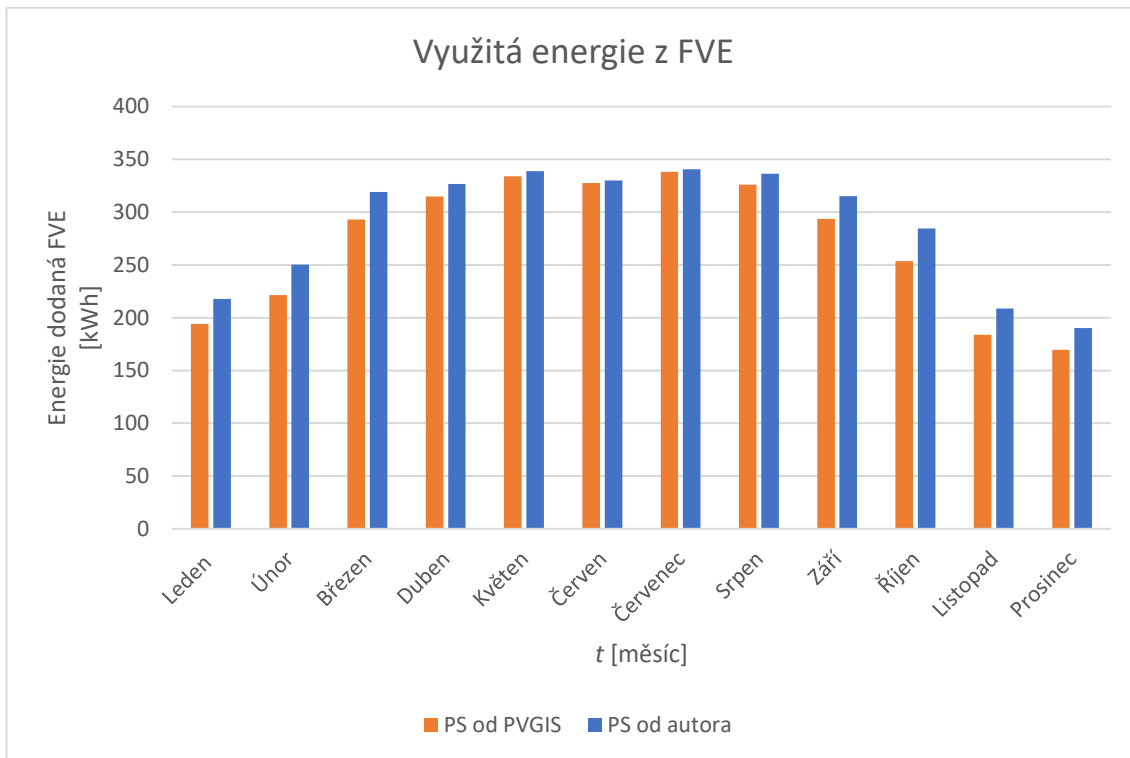
Hodnoty zadané autorem jsou zaznamenány na obr. 22. s vlastním profilem spotřeby.



Obr. 22 Vložení do PVGIS[22]

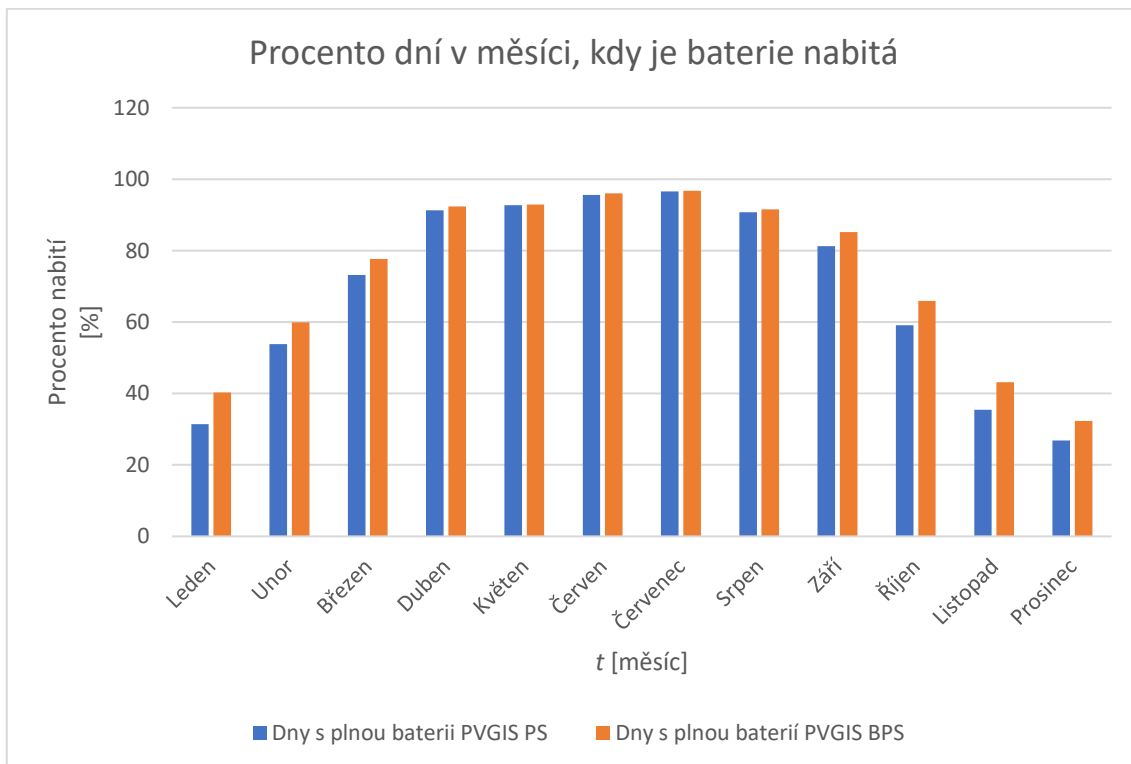
#### 4.2.2.1. Výsledek simulace v bezsít'ovém zapojení

Jedním z výsledků simulace je graf 6. Z grafu získáme výsledné hodnoty pro oba modely. Pro profil spotřeby od PVGIS získáme energii vyrobenou v hodnotě 3 249,9 kWh a pro profil spotřeby od autora energii v hodnotě 3 458,75 kWh. Z toho vyplývá, že upravením profilu spotřeby můžeme z elektrárny získat větší množství energie. O hodnotě 209 kWh, pokud budeme spotřebovávat hlavně energii vyrobenou místo akumulované. Dále se pracuje pouze s vyrobenou energií z PS od autora.

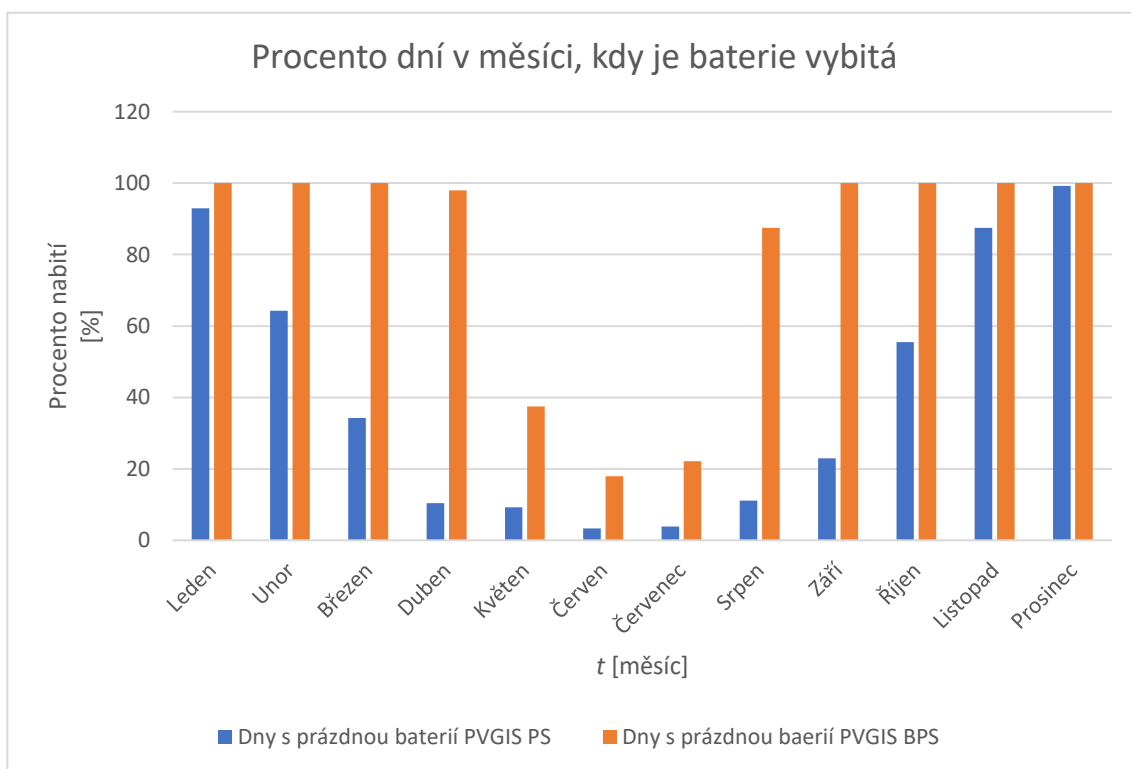


Graf 6 Vyrobená elektřina FVE

Dalším výsledkem simulace byl výkon baterie pro FV systém mimo síť. Na grafu vidíme závislost procentního stavu baterie na měsících. V grafu 7 je baterie plně nabitá a jsou vidět dvě závislosti, jedna je pro profil spotřeby oproti druhé bez profilu spotřeby (BPS). Z grafu 8 je vidět, že upravením PS můžeme razantně snížit dny, kdy baterie bude zcela vybitá.



Graf 7 Výkon baterie pro FV systém mimo síť simulace

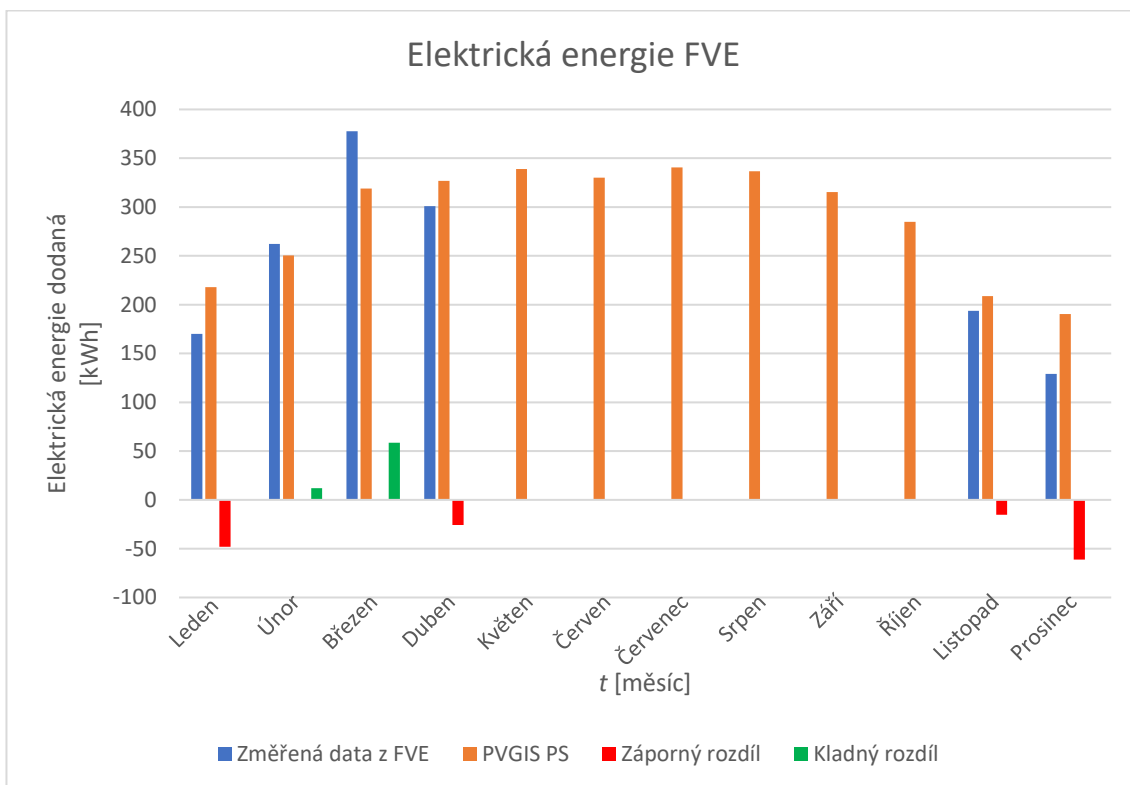


Graf 8 Výkon baterie pro FV systém mimo síť simulace



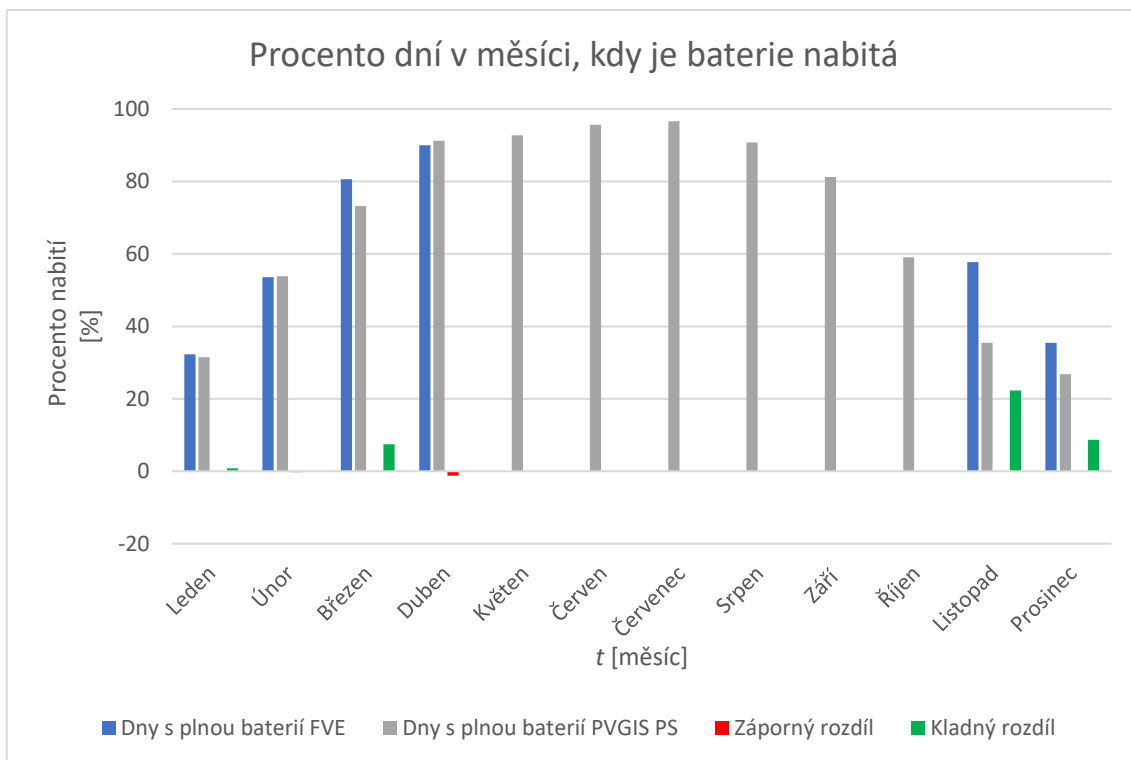
### 4.2.3. Porovnání hodnot výroby a simulace

Z parametrů získaných simulací a změřených na FVE byl vytvořen graf 9. Kde byl sestrojen rozdíl hodnot, kterých dosahuje model oproti změřeným datům na provozované FVE. Vzhledem k provozu elektrárny není graf úplný. Z dat, která máme k dispozici, můžeme vidět, že výsledky spočtené simulací PVGIS s modelem spotřeby od autora se liší. Dle modelu by elektrárna měla dodat 1 512,80 kWh, což je o 5,5 % více, než vyrobila ve skutečnosti. Kdybychom pracovali ze simulaci BPS tak FVE vyrobí o 3,92 % méně elektrické energie ve výši 1 377,07 kWh. Změřená data ze sledovaného období činí 1 433,31 kWh.

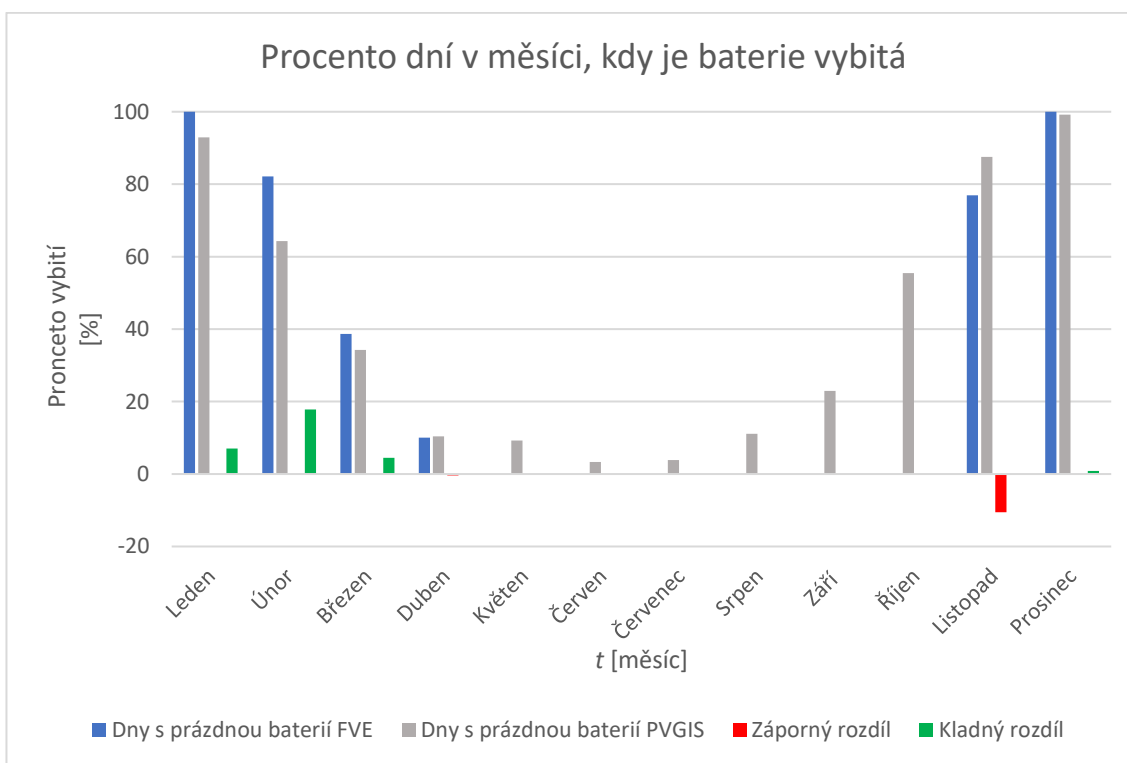


Graf 9 Porovnání hodnot

Následné porovnání je pro procento nabití baterie v daném měsíci. Znamená to, že v měsíci duben bylo v grafu 10 dosaženo plně nabití baterie v 80 % dní. Na rozdíl od úplně vybité baterie, které jsme dosáhly v 10 % dní viz graf 11. Data nám ukazují, že v simulaci pro plně nabitou baterii model od PVGIS předpověděl méně dní s plně nabitou baterií a to o 6,29 % oproti změřeným datům. V druhém případě pro baterii plně vybitou model od PVGIS předpověděl méně dní s úplně vybitou a to o 3,19 %. Červená barva znamená, že FVE vyrobila méně než model, zelená značí opak.



Graf 10 Výkon baterie mimo síť (realita a simulace)

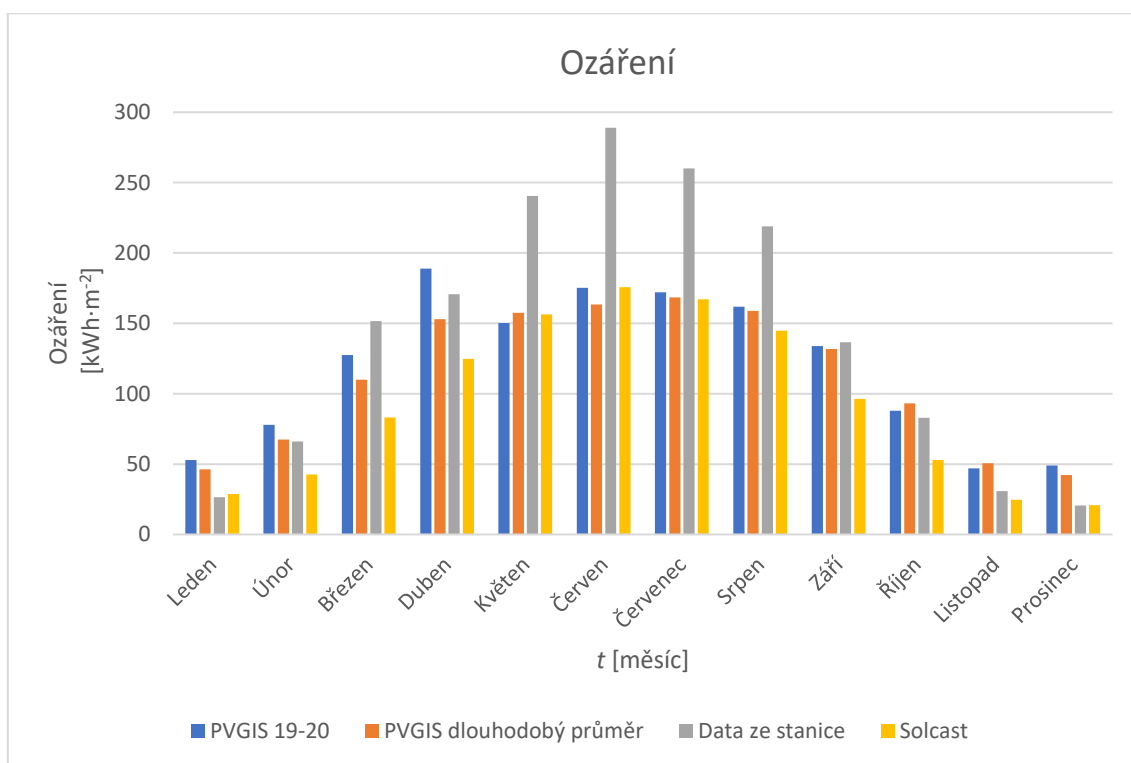


Graf 11 Výkon baterie mimo síť (realita a simulace)

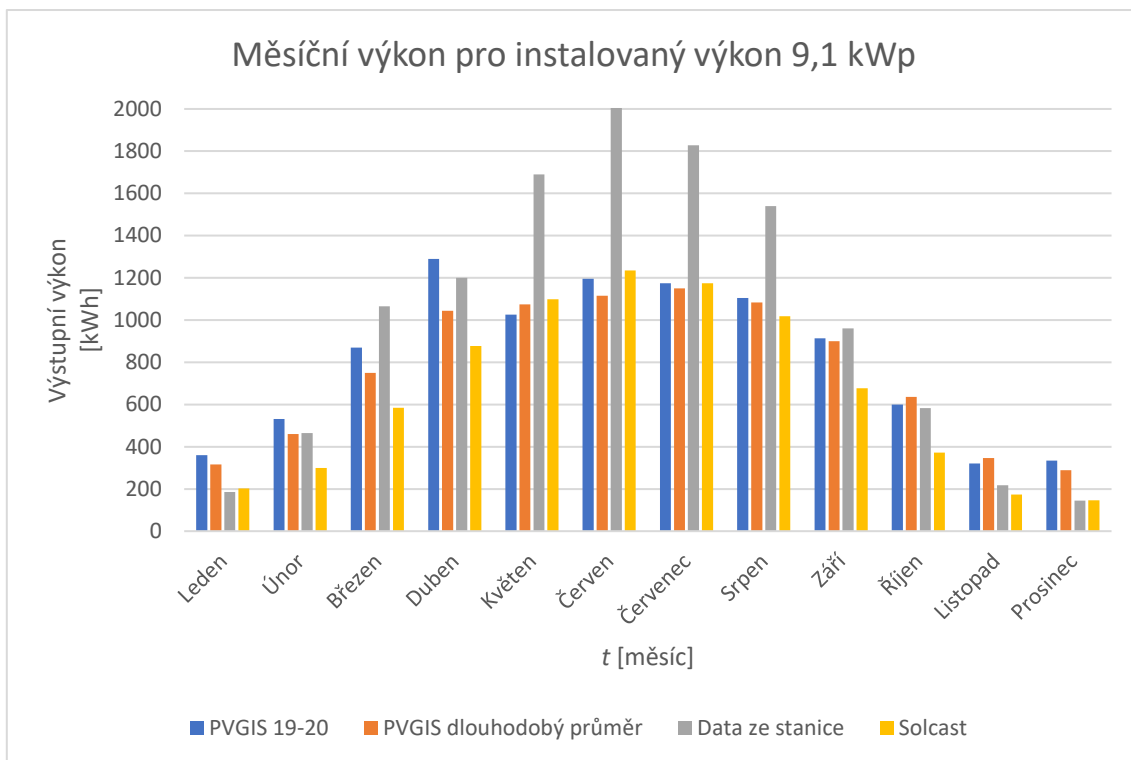
#### 4.3. Návrh dle normy ČSN EN 15316-4-3 (060401) Energetická náročnost budov – Metoda výpočtu potřeb energie a účinností soustav – Část 4-3: Výroba tepla, solární tepelné a fotovoltaické soustavy, Modul M3-8-3, M8-8-3, M11-8-3

Při tomto návrhu používáme vypočet popsany v kapitole 4.1.1. Do výpočtu se dosadí vybrané parametry. Za měsíční dávku slunečního ozáření dosadíme hodnoty získané od programu PVGIS, dat z meteorologické stanice a z internetové aplikace Solcast. Za špičkový výkon dosadíme 9,1 kWp. Činitel výkonosti FV systému volíme 0,75. Následně jsem přepočítal data ze stanice a ze Solcast, abych získal dávku slunečního ozáření v dané rovině. Jako činitel sklonu a orientace byl vybrán z tabulky v hodnotě 1,03 pro zónu 4 orientaci jihovýchod a sklon 45°.

Po výpočtu byl autorem práce zhotoven graf 12. Je na něm znázorněna intenzita záření v jednotlivých měsících, z jehož hodnot bylo následně možné vypočítat výkon dodaný FVE o instalovaném výkonu 9,1 kWp pro jednotlivé měsíce viz graf 13. V grafu vystupují hodnoty z meteorologické stanice v roce 2022. Tento rok byl velmi slunečný a je to vidět i na výkonnosti systému.

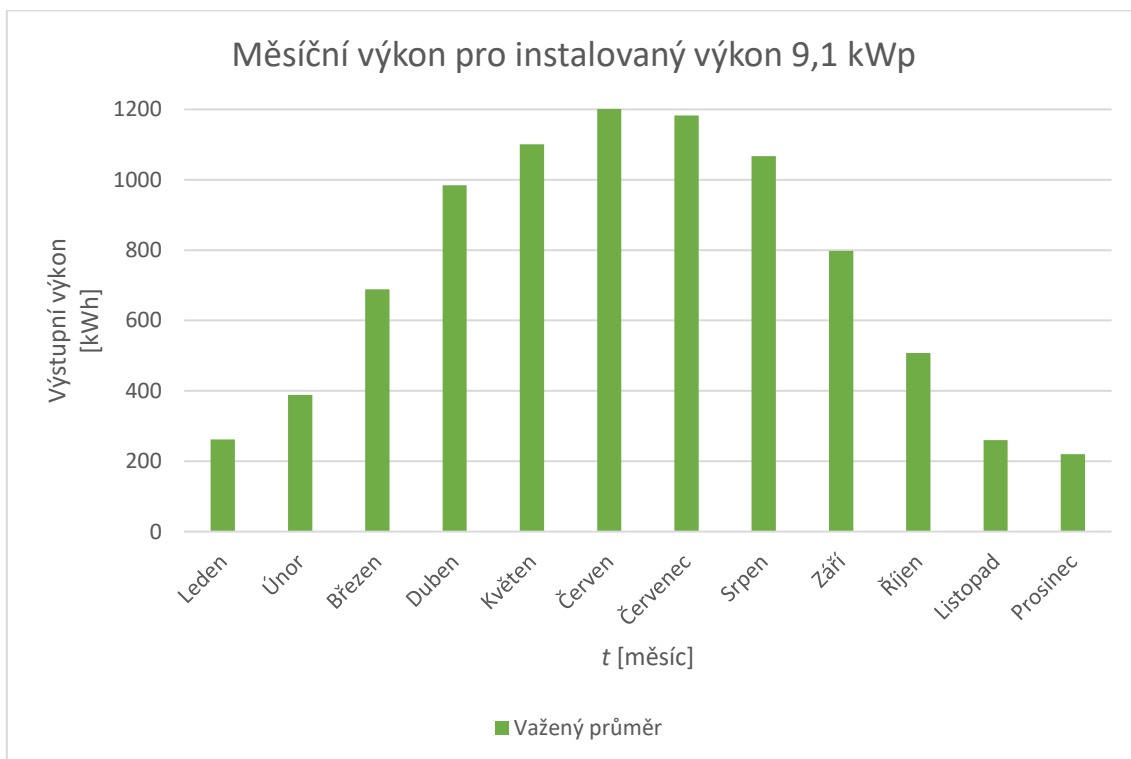


Graf 12 měsíční ozáření



*Graf 13 měsíční výkon pro 9,1 kWp*

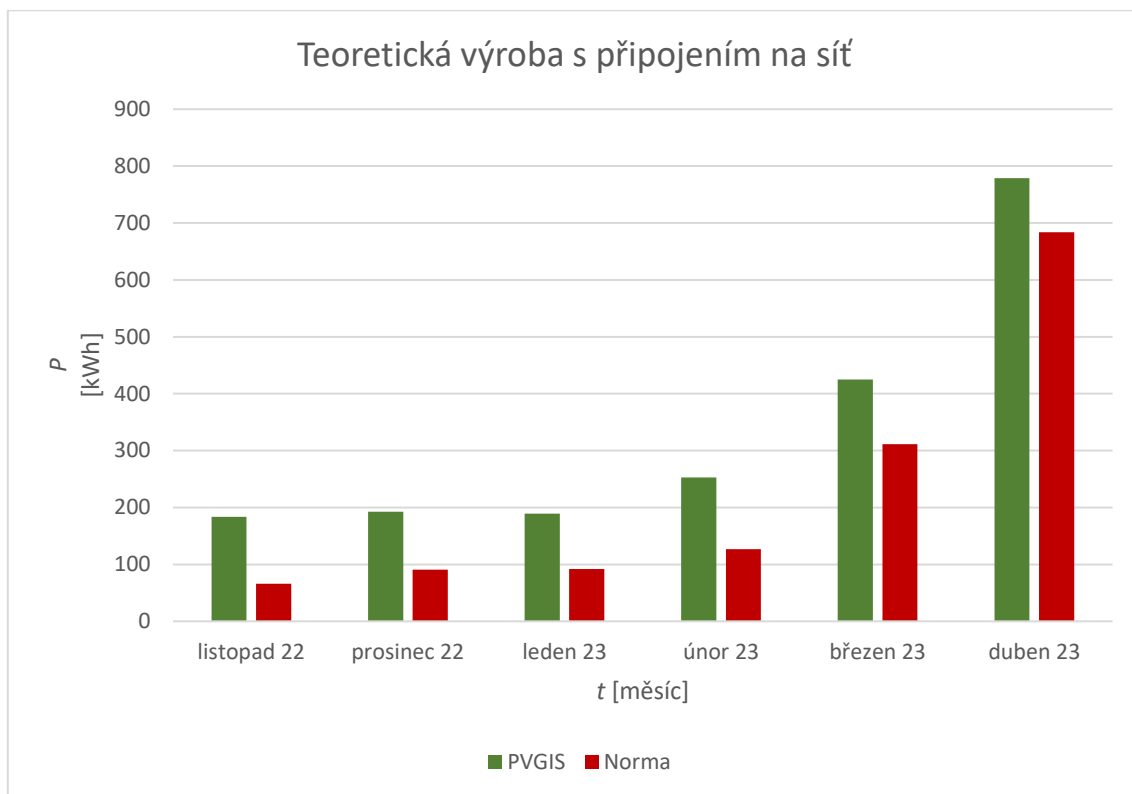
Pro stanovení dodávaného výkonu budou data spočtena pomocí váženého průměru, viz. graf 14.



*Graf 14 Měsíční vážený výkon pro 9,1 kWp*

#### 4.4. Srovnání výsledků ze simulací

V této kapitole se budeme věnovat výsledkům získaných ze dvou různých výpočtů popsaných výše. V grafu 15 byla sestrojena teoretická výroba elektrárny, když by byla připojena na síť. Z hodnot vidíme, že simulační metoda oproti normě v každém měsíci vyrobí více. V celkovém součtu pomocí normy vyrobí elektrárna navíc 1 369,97 kWh oproti 2 022,22 kWh, které vyrobí elektrárna podle PVGIS. Můžeme říct, že pomocí PVGIS vyrobí elektrárna 48 % více elektrické energie než při výpočtu z normy.



Graf 15 Srovnání předpokládané produkce elektrické energie za měsíc

Při pohledu na celkovou výrobu elektrické energie jsme tak mohli pomocí PVGIS dosáhnout 9 459,91 kWh a pomocí normy 8 663,79 kWh. Což je rozdíl pouhých 9 %. Je to způsobeno tím, že při výpočtu pomocí normy se větší část vyráběné energie vyrobí v létě. V celkovém měřítku nejde o velký podíl, ale když se zaměříme na právě sledované zimní měsíce tak je vliv značný (viz. tabulka č. 5).

Srovnání výpočtů a simulací	Výpočet Norma	Výpočet PVGIS	Procentní rozdíl
	(kWh)	(kWh)	(%)
Elektrická energie dodaná do sítě za sledované období	1 369,27	2 022,22	47,69
Elektrická energie dodaná do sítě za celý rok	8 663,79	9 459,91	9,19

Tabulka 5 Srovnání výpočtů a simulací

## 5. Hlavní parametry provozované FVE

Fotovoltaická elektrárna se skládá z těchto komponentů:

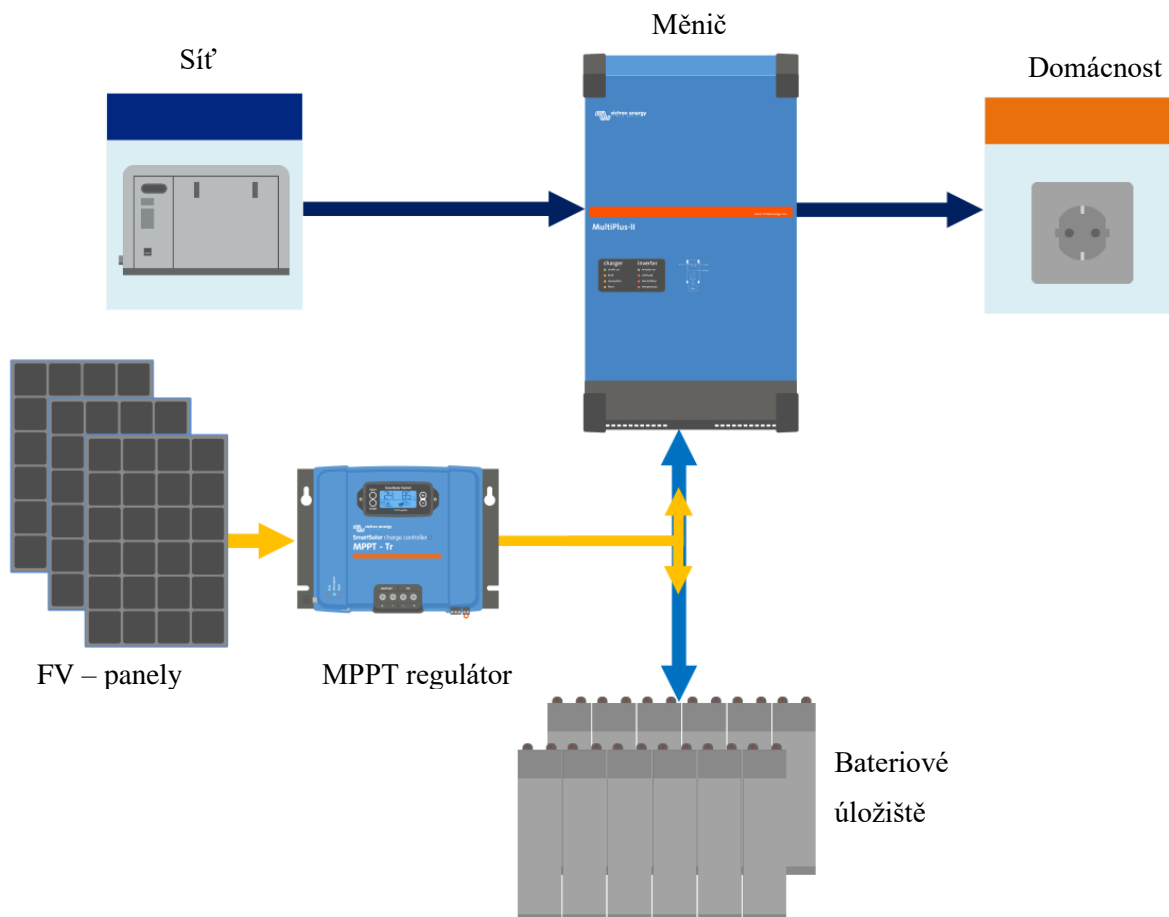
- 1) Měnič MultiPlus-II Gx 1 x
- 2) Měnič MultiPlus-II 2 x
- 3) MPPT regulátory 2 x
- 4) Bateriové úložiště 4 x
- 5) FV – panely

### 5.1. Základní popis provozované FVE

Elektrárna je tvořena 20 monokrystalickými panely PV Panel LONGI LR4-72HPH-455M SILVER o štítkovém výkonu 455 Wp, které jsou umístěny na střeše pod úhlem 40°, který jsme nijak neovlivňovali, takže mají stejný sklon jako střecha. Jsou připevněny k hliníkovým držákům sloužící k uchycení panelů na střechu. Z fotovoltaického panelu jsou vyvedeny dva vodiče pro kladný a záporný pól. Řešení elektrárny spojuje pouze část panelů. To znamená, že ne všechny panely jsou zapojeny do série. Je to z důvodu, aby se na střeše neobjevovala vysoká napětí a nemusel se na to dimenzovat MPPT regulátor. Následně jsou tyto vodiče připojeny do elektroinstalačních svorkových skříní, kde je čtveřice panelů přivedená na pojistku. Z pojistek jsou vedeny vodiče na sběrnici, ze které jsou následně vyvedeny do MPPT regulátoru, a nakonec do měničů a baterií. FVE je v provozu od listopadu 2022 a poslední zdokumentovaná data jsou z dubna 2023.

### 5.2. Popis jednotlivých prvků

Pro naše řešení bylo zvoleno modulární zapojení elektrárny. Toto řešení je od firmy Force Energy, s.r.o., a dodává nám zařízení od firmy Victron. Je to FVE s bateriovým úložištěm pro případné přebytky. Projekt FVE vychází z návrhu pro elektrárnu, která bude většinu času bez sítě. Takže měniče mají velmi malou spotřebu energie na rozdíl od all-in-one řešení. Na obrázku 23 vidíme, jak spolu jednotlivé komponenty spolupracují.



Obr. 23 Složení elektřárny [29]

### 5.3. Měnič MultiPlus-II Gx

Měnič má možnost po síti komunikovat s různými zařízeními jako jsou solární nabíječka, bateriové úložiště a další. Tyto komponenty mohou být připojeny na síť. Dálkové monitorování a ovládání některých funkcí z mobilu je rovněž možné díky připojení na síť.

Parametry jsou uvedeny v tabulce:

<b>Maximální účinnost (<math>\eta</math>)</b>	<b>%</b>	95
<b>Spotřeba při nulové zátěži (<math>P</math>)</b>	<b>W</b>	11
<b>Výstupní frekvence (<math>f</math>)</b>	<b>%</b>	50 Hz $\pm$ 0,1
<b>Výstupní napětí (<math>U</math>)</b>	<b>%</b>	230 V $\pm$ 2

Tabulka 6 Parametry ovládacího měniče [26]

#### 5.4. Měníč MultiPlus-II

Měníč má vlastní ochrany od přetížení. Nepřetržitý zdroj po výpadku sítě naskakuje do 20 milisekund. V kombinaci s MultiPlus-II GX může komunikovat s okolím.

Parametry měniče jsou uvedeny v tabulce:

<b>Maximální účinnost <math>\eta</math></b>	<b>%</b>	95
<b>Spotřeba při nulové zátěži <math>P</math></b>	<b>W</b>	11
<b>Výstupní frekvence <math>f</math></b>	<b>%</b>	50 Hz $\pm$ 0,1
<b>Výstupní napětí <math>U</math></b>	<b>%</b>	230 V $\pm$ 2

Tabulka 7 Parametry měničů neovládacích [27]

#### 5.5. MPPT regulátory

Význam názvu regulátorů. Například MPPT 150/85, první číslo je maximální napětí fotovoltaického otevřeného obvodu, číslo za lomítkem představuje maximální hodnotu nabíjecího proudu. Regulátor umožňuje různá nastavení podle baterie, které jsou na něj připojeny. Je vybaven sběrníci CAN, jež umožňuje komunikaci pro další zařízení pouze propojená kabelem s konektorem RJ45. Dohlíží na to, aby panel dodával maximální výkon viz. regulace pomocí MPPT.

Parametry MPPT regulátoru jsou uvedeny v tabulce:

<b>Maximální účinnost <math>\eta</math></b>	<b>%</b>	98 %
<b>Vlastní spotřeba</b>		20 mA při 48 V
<b>Jmenovitý výkon <math>P</math></b>	<b>W</b>	4 900 W
<b>Hmotnost <math>m</math></b>	<b>kg</b>	4,5 kg

Tabulka 8 parametry MPPT regulátorů [28]



## 5.6. Baterie

Bateriové úložiště je složeno ze 4 kusů Baterie LiFePO4 Pylontech. Je určeno pro ukládání přebytků z výroby. A pak následnému vybíjení a dodávání energie.

Parametry baterií jsou uvedeny v tabulce:

<b>Nominální napětí baterie <math>U</math></b>	<b>V</b>	48
<b>Nominální proud jednoho bloku <math>I</math></b>	<b>A</b>	25
<b>Kapacita baterie <math>C</math></b>	<b>Ah</b>	50
<b>Hmotnost <math>m</math></b>	<b>kg</b>	24

Tabulka 9 Parametry baterie [24]

## 5.7. FV – panely

Naše fotovoltaické panely jsou typu PV Panel LONGI LR4-72HPH-455M SILVER. Jsou to velice kvalitní panely s účinností 20,9 %. Panel je vybaven ochranným sklem, rám je z atomizované hliníkové slitiny. Podléhá požadavkům na získání dotace. V návrhu nese označení Panel č.4.

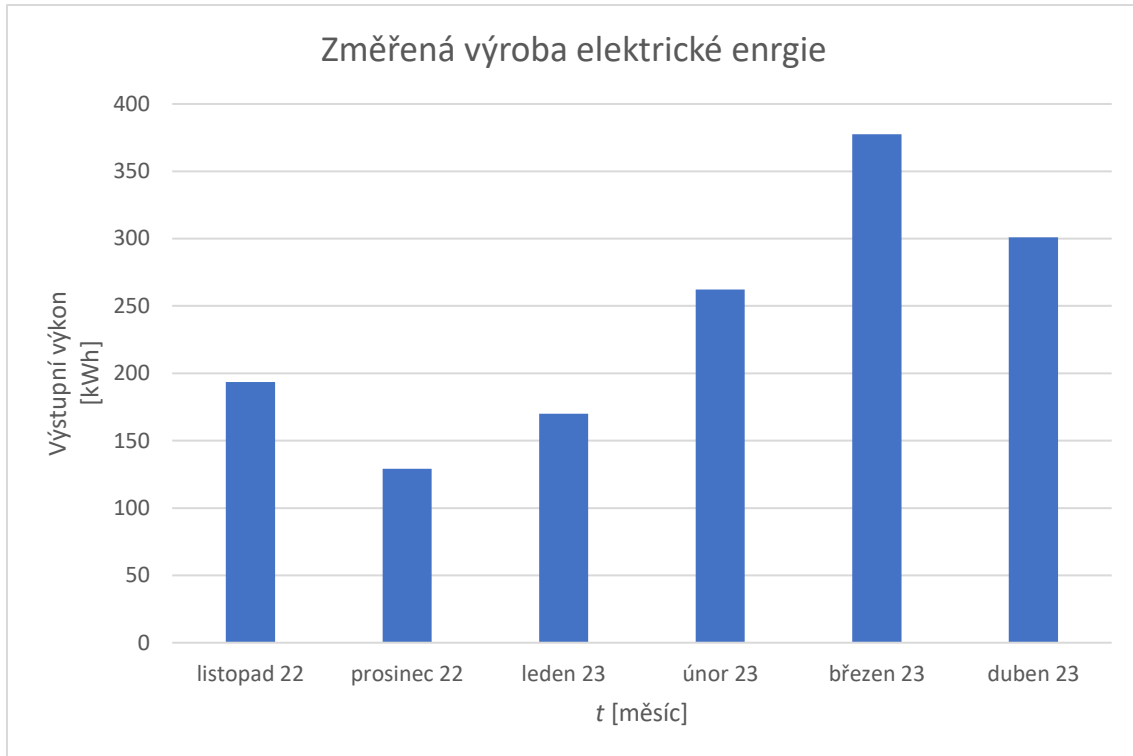
Parametry panelů jsou uvedeny v tabulce:

<b>Jmenovité napětí <math>U</math></b>	<b>V</b>	41,7
<b>Maximální proud při zatížení <math>I_{MAX}</math></b>	<b>A</b>	10,92
<b>Zkratový proud <math>I</math></b>	<b>A</b>	11,66
<b>Rozměry <math>vxšxh</math></b>	<b>mm</b>	2 094x1 038x35
<b>Výkon <math>P</math></b>	<b>Wp</b>	455
<b>Hmotnost <math>m</math></b>	<b>kg</b>	23
<b>Záruka od výrobce <math>t</math></b>	<b>rok</b>	12
<b>Aktuální cena</b>	<b>Kč</b>	4 209,91

Tabulka 10 parametry Fotovoltaického panelu [25]

## 5.8. Vyrobená elektrická energie FVE

V následujícím grafu vidíme vyrobenou elektrickou energii za roky 2022 – 2023, ve kterých elektrárna pracovala v režimu off – grid. Díky FVE domácnost ušetřila za období šesti měsíců na silové energii 1 433,31 kWh.



Graf 16 vyrobená elektřina pomocí FVE

## 6. Analýza parametrů panelů

Na základě poskytnutých parametrů byla sestavena tabulka s parametry jednotlivých FV panelů.

Parametry jednotlivých panelů:

	Jednotky	Panel č. 1	Panel č.2	Panel č.3	Instalovaný panel
<b>Jmenovité napětí</b>	<b>V</b>	41,82	62,2	40,1	41,7
<b>Maximální proud</b>	<b>A</b>	10,88	8,66	10,54	10,92
<b>Velikost</b>	<b>mm</b>	2112 x 1052 x 35	1903 x 1134 x 32	1776 x 1052 x 35	2094 x 1038 x 35
<b>Počet</b>	<b>ks</b>	20	20	26	20
<b>Celková plocha</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	44,436	43,160	48,577	43,471
<b>Účinnost</b>	<b>%</b>	20,5	21,8	18,7	20,9
<b>Hmotnost</b>	<b>kg</b>	24,5	23,5	20	23
<b>Celková hmotnost</b>	<b>kg</b>	490	470	520	460
<b>Cena</b>	<b>Kč</b>	3 329,49	4 702	3 178	4 209,91
<b>Celková cena</b>	<b>Kč</b>	66 589,8	94 040	82 628	84 198,2

*Tabulka 11 Parametry panelů*

Rád bych upozornil na některé hodnoty. Hodnoty hmotností jsou málo rozdílné. Na první pohled menší panel, v našem případě č.3, by měl mít výrazně nižší hmotnost. Ta je však ve skutečnosti nižší jen o 4,5 kg než u nejtěžšího panelu. Na druhou stranu zatíží panely střechu více, protože je jich na stejný špičkový výkon potřeba větší množství. Znamená to, že tento parametr při výběru panelu nehraje moc velkou roli. Dále se zaměříme na celkovou plochu. Plocha panelu má souvislost s jeho účinností. Pozorujeme také v tabulce, že panely s největší účinností potřebují na dosažení stejného špičkového výkonu nejméně plochy. Má to vliv na rozmístění panelů, což je ukázáno v příloze 2 – 5, kde můžeme pozorovat, jak se mění rozložení FV panelů v závislosti našeho výběru. A jako poslední parametr je cena FV panelu. Cena při zvoleném návrhu hraje pro většinu společností největší roli. Doporučení pro společnosti nezaměřovat se jenom na cenu, ale i na estetickou stránku, tedy jakou polohu panely ve výsledku zaujmou.

## 7. Závěr

Cílem mé práce bylo prostudovat a analyzovat různé metody pro návrh FVE. Ve výsledku jsem vybral dvě různé metody. První zkoumala návrh podle softwaru PVGIS, druhá se věnovala normě ČSN EN 15316-4-3 (060401) Energetická náročnost budov – Metoda výpočtu potřeb energie a účinností soustav – Část 4-3: Výroba tepla, solární tepelné a fotovoltaické soustavy, Modul M3-8-3, M8-8-3, M11-8-3. V práci jsem dále zaměřil na porovnání výstupních parametrů návrhu a dosažených hodnot provozované FVE.

Představil jsem zde různé aspekty návrhu FVE elektráren. Nejprve se zaobírám základním fungováním FV přeměny energie. Dále pak vysvětluji jednotlivé fotovoltaické pojmy.

Software PVGIS má v práci dvojí zastoupení, jelikož umožňuje návrh FVE v režimu ON grid a OFF grid, obou těchto metod jsem v analýze využil. Elektrárna pracovala ve sledovaných měsících v režimu OFF grid. Proto se část práce věnuje i tomuto návrhu a srovnání jednotlivých parametrů. Následně jsem využil návrh elektrárny pomocí ON grid pro zjištění potenciálu navrhované elektrárny, kterému konkuroval již zmíněný návrh pomocí normy.

V analýze jsem zjistil, že upravením profilu spotřeby domácnosti můžeme z FVE získat navíc až 209 kWh elektrické energie za období jednoho roku.

Po srovnání hodnot z FVE se simulací s PS jsem zjistil, že simulace vykazuje vyšší předpokládané hodnoty než reálně změřené, a to o 79,49 kWh. Dle modelu by elektrárna měla dodat 1 512,80 kWh, což je o 5,5 % více, než vyrobila ve skutečnosti.

Dále jsem se zabýval chováním baterií v průběhu měsíce, a to jak ve stavu plně nabitém i vybitém. Nejprve jsem posuzoval dosažené výsledky změřené se simulovanými výsledky s PS. Dospěl jsem k závěru, že simulační program PVGIS předpověděl o 6,29 % méně dní s plně nabitou baterií oproti změřeným datům. Při zkoumání plně vybitých baterií simulační program PVGIS předpověděl o 3,19 % méně dní s úplně vybitou baterií.

Finálně jsem zanalyzoval o jakou energii jsme byli připraveni za stavu odpojení od sítě a dospěl tak k výsledku, že podle normy vyrobí elektrárna navíc 1 369,97 kWh oproti 2 022,22 kWh, které vyrobí návrh podle PVGIS. Což je rozdíl 48 %. Tento rozdíl je způsoben tím, že měření probíhalo pouze v zimních měsících, kde elektrárna vyrobí pouze zlomek energie. U návrhu pomocí normy se více energie dosáhne v létě, a proto v zimních měsících dosahuje tak odlišných hodnot.

Jako velké omezení této práce vidím nedostatek dat, což je způsobeno spuštěním FVE v kalendářním roce 2022 v listopadu a ukončení měření v roce 2023 na konci dubna pro jejich následnou analýzu. Jelikož měřená data byla získána v zimním období, kdy FVE vyrobí zlomek energie, a má to značný vliv na jejich průběh.

Pro budoucí výzkum doporučuji větší vzorek dat, ze kterého bude čerpáno. Za důležité považuji vzorky ze zkoumané elektrárny. Monitorování výsledků po celý rok by vedlo k lepšímu zhodnocení sledovaných průběhů během roku.

Závěrem můžeme konstatovat, že návrhové metody pomocí PVGIS jsou přesné a dají se podle nich navrhovat FVE. U návrhu pomocí normy má velký vliv na různé výsledky vzorek dat a jak je s těmito daty nakládáno. Je však třeba brát v úvahu rozdíly mezi navrženými a reálnými provozními výkony a neustále se snažit zdokonalovat tyto metody a přibližovat je co nejvíce skutečné provozní realitě FVE.

## 8. Zdroje

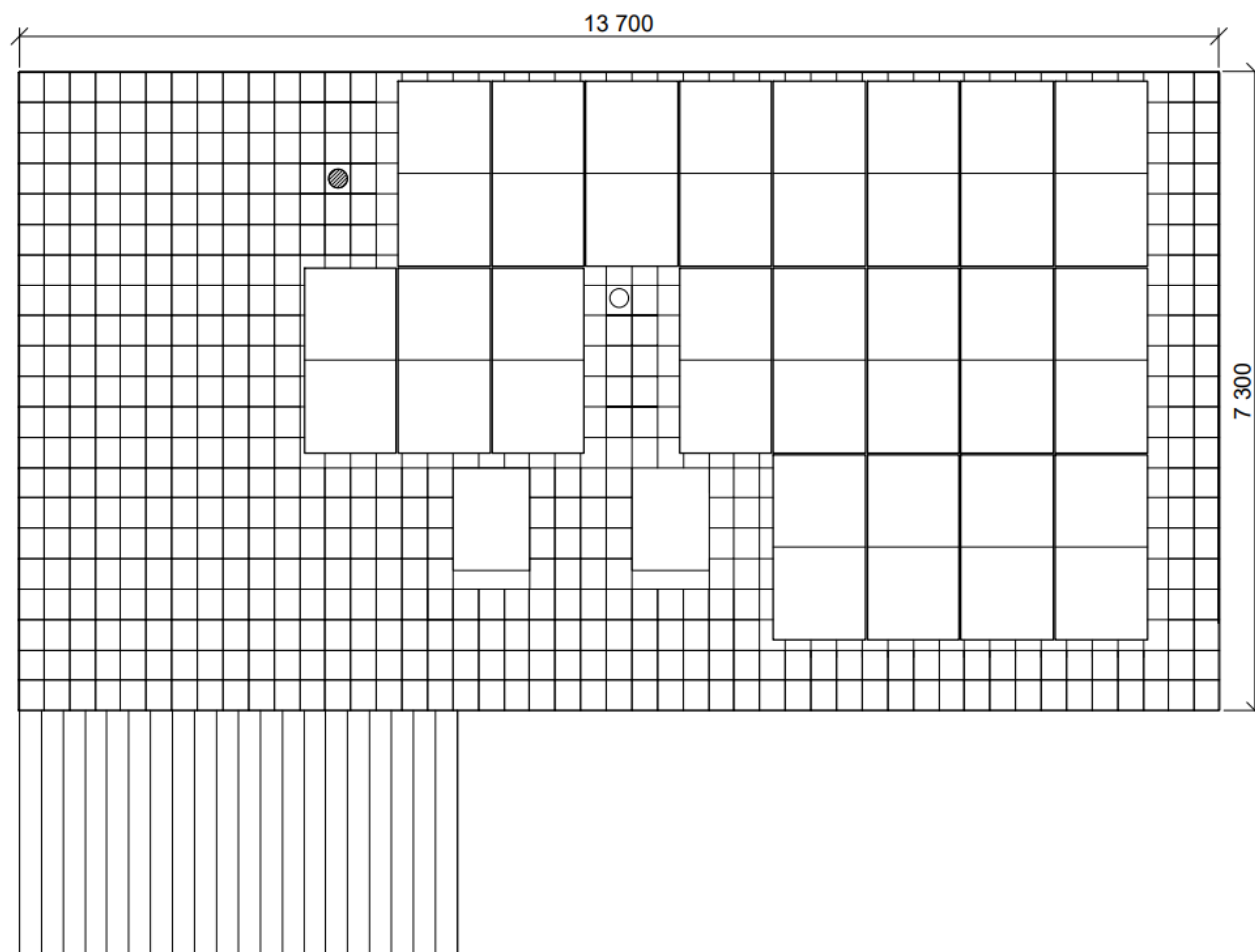
- [1] Akumulace přebytků z OZE do vodíku [online]. Praha, 2021 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/94700/F3-DP-2021-Bajtalon-Michal-Akumulace\\_přebytku\\_z\\_OZE\\_do\\_vodiku.pdf](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/94700/F3-DP-2021-Bajtalon-Michal-Akumulace_přebytku_z_OZE_do_vodiku.pdf)
- [2] *Amorfni panely* [online]. [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: <https://www.wattcontrol.cz/amorfni-panel/>
- [3] ANALYTICKÉ METODY SOLÁRNÍCH PANELŮ A SYSTÉMŮ [online]. Brno, 2011 [cit. 2023-05-01]. Dostupné z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_veřejne.php?file\\_id=38558](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_veřejne.php?file_id=38558)
- [4] Average Sunshine in Hours per years in France (1998–2007) [online]. [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <https://vividmaps.com/average-sunshine-in-hours-per-years-in/>
- [5] BECHNÍK, Bronislav. Optimální orientace a sklon fotovoltaických panelů. TZB-info [online]. 23. 6. 2014 [cit. 2023-02-08]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/114865-optimalni-orientace-a-sklon-fotovoltaickych-panelu>
- [6] Carte de France de l'ensoleillement. *Carte de France de l'ensoleillement* [online]. [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <http://www.cartesfrance.fr/geographie/cartes-france-climat/carte-ensoleillement.html>
- [7] *Cykly a životnost baterie* [online]. TZB info [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/21096-cykly-a-zivotnost-baterie>
- [8] *Druhy fotovoltaických panelů* [online]. [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: <https://www.wattcontrol.cz/panely/>
- [9] *Elektrické vlastnosti pevných látek. Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/773-elektricke-vlastnosti-pevnych-latek>
- [10] EU Science Hub. PVGIS user manual [online]. 2023 [cit. 2023-04-20]. Dostupné z: [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool/getting-started-pvgis/pvgis-user-manual\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool/getting-started-pvgis/pvgis-user-manual_en)
- [11] *Fotovoltaická elektrárna – pojmy* [online]. [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: [https://www.fvesystemy.cz/Terminologie-a5\\_0.htm](https://www.fvesystemy.cz/Terminologie-a5_0.htm)
- [12] *Fotovoltaické systémy s východo-západní orientací a pouze jedním střídačem. Tzbinfo* [online]. 2013 [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/9667-fotovoltaicke-systemy-s-vychodo-zapadni-orientaci-a-pouze-jednim-stridacem>
- [13] *Fotovoltaický jev. Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/ede/contet/microsites/solarni/f8.htm>
- [14] *Fotovoltaický jev* [online]. [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: <https://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu>
- [15] Fotovoltaický panel 455W JA Solar JAM72S20 455 /MR stříbrný rám. Q-Elektrik [online]. 2023 [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: [https://elektro.q-elektrik.cz/jam72s20-455-mr-silver-frame?gclid=CjwKCAjwRpOiBhBVEiWA\\_473dDWu5D0ouK7yh4EuZTEy0c3bnozvXiN3LCRAM-3QI6nme6T-g130yRoCUBMQAvD\\_BwEPanel](https://elektro.q-elektrik.cz/jam72s20-455-mr-silver-frame?gclid=CjwKCAjwRpOiBhBVEiWA_473dDWu5D0ouK7yh4EuZTEy0c3bnozvXiN3LCRAM-3QI6nme6T-g130yRoCUBMQAvD_BwEPanel)
- [16] *Fotovoltaika v podmínkách České republiky* [online]. [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/slunecni-zareni-v-cr.aspx>
- [17] *Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů* [online]. Fotovoltaika, fototermika [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/91/03.html#3-1>

- [18] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie*. Praha: Ilsa, 2009. ISBN 9788090431102.
- [19] *Meteorologická stanice Srch* [online]. 2023 [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://pocasi.hrubes.info/template/plugins/solar/month.php>
- [20] *Monokrystalický nebo polykrystalický solární panel? Jaký vybrat?* [online]. [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: <https://www.abctech.cz/default.asp?show=wm&wmpart=article&wmid=99>
- [21] *Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltaike. Tzbinfo* [online]. 2014 [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaike>
- [22] *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM* [online]. European Commission [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)
- [23] *Polykrystalické panely* [online]. [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: <https://www.wattcontrol.cz/polykrystalicky-panel/>
- [24] *Produktový katalog* [online]. [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: <https://ecoprodukt.cz/p/85805-baterie-lifepo4-pylontech-us2000c-48v-50ah-2-4kwh-canbus-31097?gclid=CjwKCAiAkrWdBhBkEiwAZ9cdcHA2sRWKzjKNqiSiiFniAeEpzSq8dPfd86HIAEpd7gWpLUY0GaOBoCvNYQAvD BwE>
- [25] *Produktový katalog* [online]. [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: <https://shop.elektrosms.cz/cs/panel-longi-lr4-72hph-455m--skl000399239>
- [26] *Produktový katalog* [online]. [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: <https://www.victronenergy.cz/upload/documents/Datasheet-MultiPlus-II-GX-inverter-charger-EN-.pdf>
- [27] *Produktový katalog* [online]. [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: <https://www.victronenergy.cz/upload/documents/Datasheet-MultiPlus-II-inverter-charger-EN.pdf>
- [28] *Produktový katalog* [online]. [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: <https://www.victronenergy.cz/upload/documents/Datasheet-SmartSolar-charge-controller-MPPT-150-70-up-to-150-100-VE.Can-EN.pdf>
- [29] *Produktový katalog* [online]. [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: <https://www.victronenergy.cz/upload/documents/SLD-MPPT-Tr--MultiPlus-II-off-grid-2019-05-21.pdf>
- [30] *PVGIS data sources & calculation methods* [online]. European Commission [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool/getting-started-pvgis/pvgis-data-sources-calculation-methods\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool/getting-started-pvgis/pvgis-data-sources-calculation-methods_en)
- [31] THE WORLD BANK GROUP. *Global solar atlas* [online]. 2023 [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: <https://globalsolaratlas.info>
- [32] *Víte co je to MPPT?* [online]. [cit. 2023-02-08]. Dostupné z: <https://www.solar-kerberos.cz/cz/produkt/blog/211-vite-co-je-to-mppt>

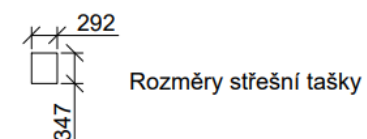
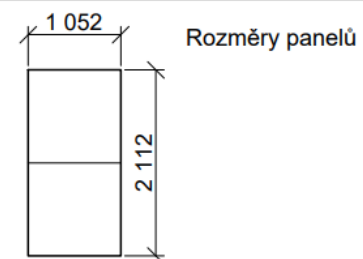
- [33] Solární panel DAH 455Wp, celočerný, full screen, monokrystalický, monofaciální, 1903x1134x32mm. Rozsvítíme svět.cz [online]. 2023 [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: [https://www.rozsvitimesvet.cz/solarni-panel-dah-455wp--celocerny--full-screen--monokrystalicky--monofacialni--1903x1134x32mm/?gclid=Cj0KCQjwi46iBhDyARIsAE3nVrbHcxkZcnLFxdrLTXiuiqbKivkIqXPMbDc6z3D2uo\\_hw--o9NZjT1AaAIQaEALw\\_wcB](https://www.rozsvitimesvet.cz/solarni-panel-dah-455wp--celocerny--full-screen--monokrystalicky--monofacialni--1903x1134x32mm/?gclid=Cj0KCQjwi46iBhDyARIsAE3nVrbHcxkZcnLFxdrLTXiuiqbKivkIqXPMbDc6z3D2uo_hw--o9NZjT1AaAIQaEALw_wcB)
- [34] Solcast [online]. 2023 [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: [https://solcast.com/?\\_ga=2.118618572.457130101.1684133943-416890681.1678357841](https://solcast.com/?_ga=2.118618572.457130101.1684133943-416890681.1678357841)
- [35] Suntech STP 350S-B60/Wnhb. Nemakej.cz [online]. 2023 [cit. 2023-04-20]. Dostupné z: <https://www.nemakej.cz/Suntech-STP-350S-B60-Wnhb-n22207>
- [36] Základní charakteristiky fotovoltaického modulu [online]. 2020 [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: [https://fyz.fce.vutbr.cz/wp-content/uploads/sites/21/2020/08/11\\_10.pdf](https://fyz.fce.vutbr.cz/wp-content/uploads/sites/21/2020/08/11_10.pdf)
- [37] Zjednodušený bilanční výpočet ročních přínosů fotovoltaických instalací. Tzbinfo [online]. 2016 [cit. 2023-03-08]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13878-zjednoduseny-bilancni-vypocet-rocnich-prinosu-fotovoltaickych-instalaci>



## Příloha č.2



### Legenda:

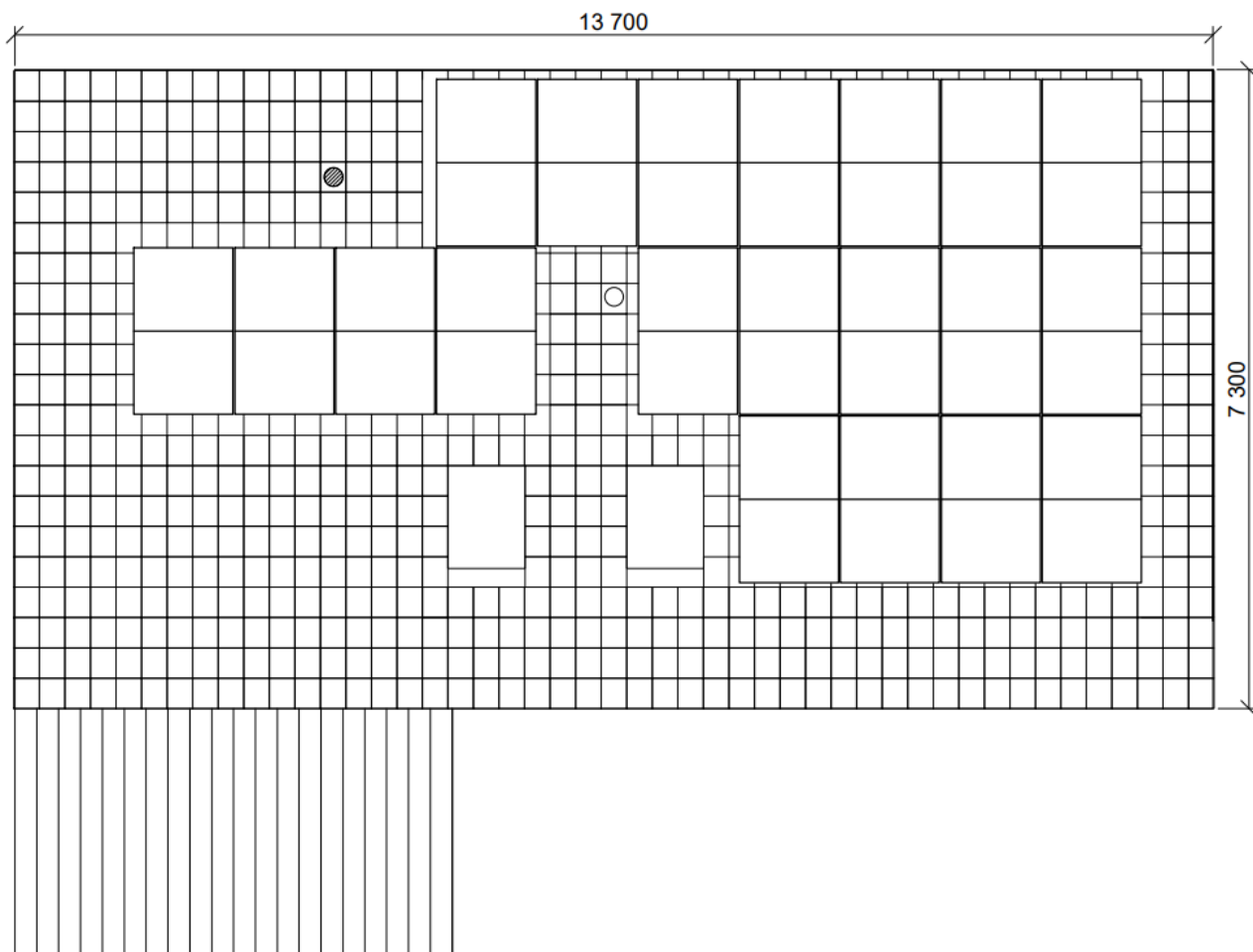


● Místo pro anténu

○ Větrací komín

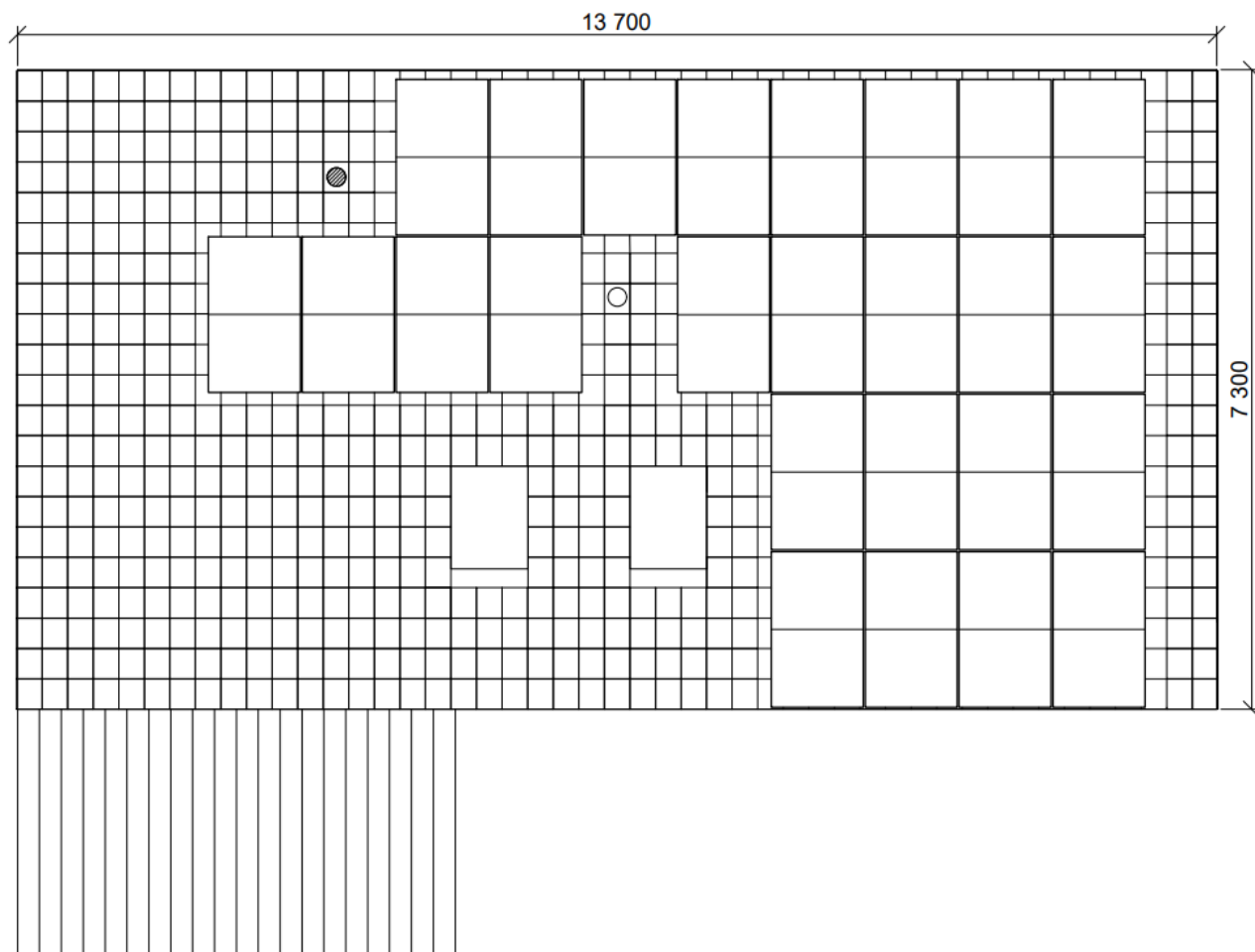
Fakulta elektrotechnická <b>ČVUT</b>	Zpracoval: <b>MARTIN TŮMA</b>
Název projektu: <b>Panel č. 1</b>	FORMÁT: A4 STUPEŇ PD: DSP DATUM: 05/2023 Měřítko: 1:75
Název výkresu: Rozvržení panelů	ČÍSLO VÝKRESU: <b>01</b>

Příloha č.3



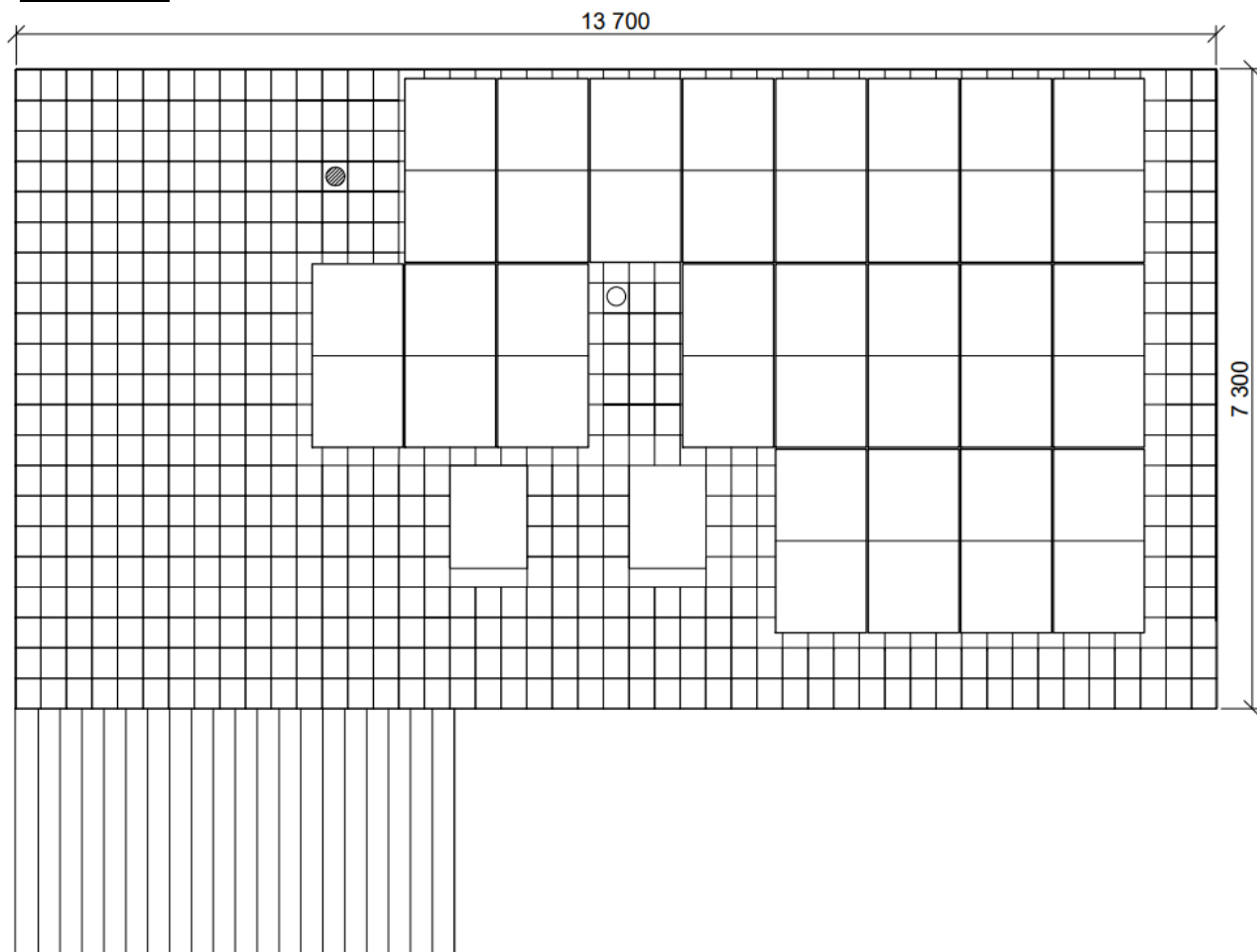
<b>Legenda:</b>	
	<b>1 134</b> <b>1 903</b> Rozměry panelů
	<b>292</b> <b>347</b> Rozměry střešní tašky
	Místo pro anténu
	Větrací komín
Fakulta elektrotechnická 	Zpracoval: <b>MARTIN TŮMA</b>
Název projektu: <b>Panel č. 2</b>	FORMÁT: A4 STUPEŇ PD: DSP DATUM: 05/2023 Měřítko: 1:75
Název výkresu: Rozvržení panelů	ČÍSLO VÝKRESU: <b>02</b>

Příloha č.4

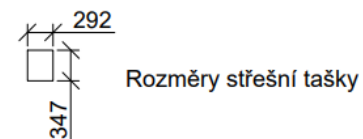
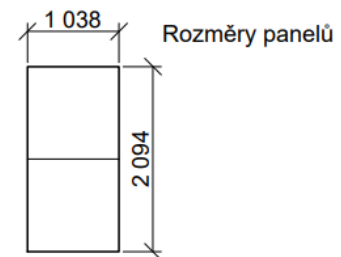


Legenda:					
	<p>Rozměry panelů</p>				
	<p>Rozměry střešní tašky</p>				
	<p>Místo pro anténu</p>				
	<p>Větrací komín</p>				
<p>Fakulta elektrotechnická <b>ČVUT</b></p>	<p>Zpracoval: <b>MARTIN TŮMA</b></p>				
<p>Název projektu:</p>	<table border="1"> <tr> <td>FORMÁT: A4</td> </tr> <tr> <td>STUPĚŇ PD: DSP</td> </tr> <tr> <td>DATUM: 05/2023</td> </tr> <tr> <td>MĚŘÍTKO: 1:75</td> </tr> </table>	FORMÁT: A4	STUPĚŇ PD: DSP	DATUM: 05/2023	MĚŘÍTKO: 1:75
FORMÁT: A4					
STUPĚŇ PD: DSP					
DATUM: 05/2023					
MĚŘÍTKO: 1:75					
<p>Název výkresu:</p>	<p>ČÍSLO VÝKRESU:</p>				
<p>Rozvržení panelů</p>	<p>03</p>				

Příloha č.5



Legenda:



● Místo pro anténu

○ Větrací komín

Fakulta elektrotechnická <b>ČVUT</b>	Zpracoval: <b>MARTIN TŮMA</b>
Název projektu: <b>Panel č. 4</b>	FORMÁT: A4
	STUPĚŇ PD: DSPS
	DATUM: 05/2023
	Měřítko: 1:75
Název výkresu: <b>Rozvržení panelů</b>	ČÍSLO VÝKRESU: <b>04</b>