



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

# NÁVRH INSTALACE FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY V PROVOZU ŠPITÁLKA AKCIOVÉ SPOLEČNOSTI TEPLÁRNY BRNO

DESIGN OF PHOTOVOLTAIC POWER PLANT IN AREA ŠPITÁLKA BRNO

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Dominik Jedlička

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Morávek, Ph.D.

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Sílnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

**Student:** Dominik Jedlička

**ID:** 208686

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2020/21

## NÁZEV TÉMATU:

### Návrh instalace fotovoltaické elektrárny v provozu Špitálka akciové společnosti Teplárny Brno

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. rešerše oblasti návrhu a komponent FV systémů
2. návrh rozmístění komponent FV systému v areálu Špitálka, Brno
3. specifikace konkrétních parametrů a zapojení navrhovaného zdroje do stávající sítě nn
4. zpracování technicko-ekonomické analýzy navrženého řešení

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího bakalářské práce

**Termín zadání:** 8.2.2021

**Termín odevzdání:** 1.6.2021

**Vedoucí práce:** Ing. Jan Morávek, Ph.D.

**doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

## UPOZORNĚNÍ:

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

## **Abstrakt**

Cílem této práce je návrh fotovoltaické elektrárny na střeše provozu Špitálka akciové společnosti Teplárny Brno. V teoretické části jsou rozebrány typy fotočlánků, možnosti recyklace fotovoltaických panelů, komponenty fotovoltaických systémů a možnosti návrhu samotné elektrárny. V praktické části navazuje samotný návrh elektrárny s pomocí informací z teoretické části.

## **Klíčová slova**

Fotovoltaický článek, fotovoltaická elektrárna, návrh fotovoltaické elektrárny, ekonomická analýza

## **Abstract**

The aim of this work is to design a photovoltaic power plant on the roof of the area Špitálka part of company Teplárny Brno. The theoretical part discusses the types of photovoltaic cells, the possibilities of recycling photovoltaic panels, components of photovoltaic systems and the design of the power plant itself. The practical part is followed by the design of the power plant with the use of information gathered in the theoretical part.

## **Keywords**

Photovoltaic, power plant, design, economic analysis

## **Bibliografická citace**

JEDLIČKA, Dominik. *Návrh instalace fotovoltaické elektrárny v provozu Špitálka akciové společnosti Teplárny Brno* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/133356>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Jan Morávek.

# Prohlášení autora o původnosti díla

<b>Jméno a příjmení studenta:</b>	<i>Dominik Jedlička</i>
<b>VUT ID studenta:</b>	208686
<b>Typ práce:</b>	<i>Bakalářská práce</i>
<b>Akademický rok:</b>	2020/21
<b>Téma závěrečné práce:</b>	<i>Návrh instalace fotovoltaické elektrárny v provozu Špitálka akciové společnosti Teplárny Brno</i>

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne: 1. června 2021

-----  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Morávkovi, PhD. za velice ochotnou a pohotovou spolupráci a za poskytnutí mnoha užitečných rad při tvorbě práce.

V Brně dne: 1. června 2021

-----  
podpis autora

# Obsah

<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>8</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>9</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>10</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>1. TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>12</b>
1.1 FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA.....	12
1.2 SOLÁRNÍ ENERGIE .....	12
1.3 FOTOVOLTAICKÝ ČLÁNEK .....	13
1.3.1 Monokrystalické články.....	13
1.3.2 Polykrystalické fotočlánky .....	14
1.3.3 Amorfni články.....	14
1.3.4 Organické články .....	15
1.3.5 Barvocitlivé články.....	16
1.4 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VÝKON FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ .....	18
1.4.1 Sluneční záření.....	18
1.4.2 Teplota .....	20
1.4.3 Stínění .....	20
1.5 RECYKLACE FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ .....	21
1.5.1 Termická recyklace .....	23
1.6 TYPY PŘIPOJENÍ K ROZVODNÉ SÍTI.....	24
1.6.1 Systémové připojení k síti – grid on .....	24
1.6.2 Samostatný (ostrovni) systém – grid off.....	28
1.7 NÁVRH FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY .....	29
1.7.1 Fotovoltaické panely.....	29
1.7.2 Střídače .....	33
1.7.3 Jističí prvky.....	36
1.7.4 Software pro návrh .....	38
<b>2. PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>39</b>
2.1 POPIS OBJEKTU.....	39
2.2 KOMPONENTY .....	42
2.2.1 Panely .....	42
2.2.2 Střídače .....	44
2.3 ZAPOJENÍ A ROZMÍSTĚNÍ .....	46
2.4 POKRYTÍ SPOTŘEBY.....	51
2.5 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....	56
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>58</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>60</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>64</b>

# SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

## Zkratky:

IR	infračervené záření
3D	označení pro trojrozměrný prostor
PN přechod	rozhraní polovodiče typu P a polovodiče typu N
DSSC	Dye-sensitive solar cells
FV (PV)	fotovoltaický
ČR	Česká republika
HDS	hlavní domovní skříň
4Q	čtyřkvadrantový
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
ERÚ	Energetický regulační úřad
RfG	Rámcové pokyny a síťové kodexy
nn	nízké napětí
DC	stejnoseměrný proud/napětí
AC	střídavý proud/napětí
MPP	rozsah napětí pro optimální práci panelu
PVGIS	Fotovoltaický geografický informační systém

## Symboly:

$I_0$	sluneční konstanta	[W.m <sup>-2</sup> ]
$I_p$	intenzita přímého slunečního záření	[W.m <sup>-2</sup> ]
$Z$	součinitel znečištění	[-]
$\gamma$	úhel dopadu slunečních paprsků	[°]
$A$	plocha	[m <sup>2</sup> ]
$P$	výkon	[W]
$U$	napětí	[V]
$I$	proud	[A]
PR	provozní výkonnost	[%]
$E$	elektrická energie	[Wh]
$G_E$	energie dopadajícího záření	[Whm <sup>-2</sup> ]
$E_{ffm}$	účinnost FV panelů dle výrobce	[%]
$U_o$	energie dopadajícího záření, kterou není možné přeměnit na elektrickou energii	[Whm <sup>-2</sup> ]



# SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1</i> Křemíkový ingot (5).....	14
<i>Obrázek 2</i> Monokrystalický, polykrystalický a amorfni článek (45).....	15
<i>Obrázek 3</i> Organický panel umístěný v okně (9).....	16
<i>Obrázek 4</i> (a) ilustrace shluků nanokrystalů oxidu zinečnatého (b) submikronové shluky nanokrystalů ZnO a (c) fotoelektrodová vrstvička tvořena shluky ZnO (d) přenos světla v porézní elektrodě (10).....	17
<i>Obrázek 5</i> Vliv intenzity slunečního záření na výkon FV článku (2).....	19
<i>Obrázek 6</i> Roční úhrn globálního slunečního záření v ČR (11).....	19
<i>Obrázek 7</i> Vliv teploty na výkon fotočlánku (2).....	20
<i>Obrázek 8</i> Rozvoj fotovoltaiky v Německu a ČR (15).....	22
<i>Obrázek 9</i> Zjednodušené schéma grid-on sítě (17).....	24
<i>Obrázek 10</i> Zapojení systému pro vlastní spotřebu (2).....	24
<i>Obrázek 11</i> Zapojení systému pro dodávku do sítě (2).....	25
<i>Obrázek 12</i> Hybridní systém s akumulací elektrické energie (11).....	28
<i>Obrázek 13</i> Dimenzování rozmístění panelů (2).....	30
<i>Obrázek 14</i> Příklady zapojení střídačů A) centrální, B) stringové, C) modulové (2).....	34
<i>Obrázek 15</i> Princip jistění fotovoltaického pole (30).....	37
<i>Obrázek 16</i> Schéma systému FV elektrárny se znázorněním ochran (30).....	38
<i>Obrázek 17</i> Provoz Špitálka (31).....	39
<i>Obrázek 18</i> Mapa slunečního ozáření – Špitálka (32).....	40
<i>Obrázek 19</i> Vyznačené části střech pro panely (34).....	41
<i>Obrázek 20</i> Přehled rozměrů panelů.....	43
<i>Obrázek 21</i> Výkres rozmístění panelů na budovách.....	46
<i>Obrázek 22</i> Letecký snímek s vyznačením využitých střech (34).....	47
<i>Obrázek 23</i> Principiální schéma zapojení rozvodů.....	48
<i>Obrázek 24</i> Detail zapojení panelů na budově 6.....	48
<i>Obrázek 25</i> Detail zapojení panelů na budově 2.....	49
<i>Obrázek 26</i> Projektová dokumentace elektrických rozvodů.....	50
<i>Obrázek 27</i> Detail projektové dokumentace v oblasti napojení fotovoltaiky.....	50
<i>Obrázek 28</i> Graf roční spotřeby energie (39).....	52
<i>Obrázek 29</i> Předpokládaná výroba energie fotovoltaiky (40).....	53
<i>Obrázek 30</i> Předpokládané hodnoty ozáření (40).....	53
<i>Obrázek 31</i> Graf roční spotřeby energie s FVE.....	55

## SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1</i>	<i>Typické hodnoty součinitele znečištění</i>	18
<i>Tabulka 2</i>	<i>Materiálové složení panelů z krystalického křemíku</i>	21
<i>Tabulka 3</i>	<i>Výkonové kategorie výrobních modulů</i>	26
<i>Tabulka 4</i>	<i>Požadavky podle RfG pro kategorie A1 a A2</i>	26
<i>Tabulka 5</i>	<i>Parametry panelu Q.PEAK 350</i>	30
<i>Tabulka 6</i>	<i>Parametry panelu HIT 340</i>	31
<i>Tabulka 7</i>	<i>Parametry panelu Hiku POLY 350</i>	32
<i>Tabulka 8</i>	<i>Parametry panelu HCM60X9 Mono 9BB 345 W</i>	33
<i>Tabulka 9</i>	<i>Parametry měniče GW3648-EM</i>	35
<i>Tabulka 10</i>	<i>Parametry střídače PVI-4.2-TL-OUTD</i>	35
<i>Tabulka 11</i>	<i>Parametry střídače SYMO 4.5-3-M WLAN</i>	36
<i>Tabulka 12</i>	<i>Průměrné měsíční doby ozáření Brno (33)</i>	40
<i>Tabulka 13</i>	<i>Plocha pro umístění panelů</i>	41
<i>Tabulka 14</i>	<i>Parametry panelu Q.PEAK DUO 350 (35)</i>	42
<i>Tabulka 15</i>	<i>Údaje k panelům</i>	43
<i>Tabulka 16</i>	<i>Parametry střídače Fronius symo 20.0-3-M (36)</i>	44
<i>Tabulka 17</i>	<i>Výpočet parametrů střídače z konfigurátoru (37)</i>	45
<i>Tabulka 18</i>	<i>Tabulka roční spotřeby energie – Špitálka (39)</i>	51
<i>Tabulka 19</i>	<i>Předpovídaná výroba elektrické energie</i>	54
<i>Tabulka 20</i>	<i>Přehled ceny za elektrárnu (36) (21) (41) (42)</i>	56
<i>Tabulka 21</i>	<i>Ekonomické hodnocení projektu</i>	56

# ÚVOD

Obnovitelné zdroje elektrické energie zažívají v posledních deseti letech velký rozmach. Kvůli evropským úmluvám bude do budoucna těchto malých obnovitelných zdrojů stále přibývat ve snaze dosáhnout uhlíkové neutrality. Veškeré uhelné elektrárny tedy budou muset být nahrazeny, a to ve značné míře obnovitelnými zdroji. Mezi ekologicky nejčistší zdroje elektrické energie patří právě fotovoltaické elektrárny. Kromě vlastní výroby a dopravy fotovoltaických panelů spolu s jejich likvidací (recyklací) nijak nenarušují životní prostředí. Díky možnostem umístění panelů na střechy i stěny budov také minimálně narušují ráz krajiny. Proti větrným elektrárnám jsou také snadno instalovatelné v zástavbě a snadno přístupné pro servis.

Asi největší nevýhodou fotovoltaických elektráren je značná nestabilita produkce elektrické energie, a to jak v průběhu roku, tak v průběhu dne. Tento problém dokáže částečně vyřešit akumulace elektrické energie v bateriích a práce fotovoltaické elektrárny v hybridním režimu. Další možností akumulace vyrobené energie je v podobě tepla ohřevem vody.

S přibývajícím množstvím těchto malých zdrojů elektrické energie budou do budoucna také kladeny čím dál větší nároky na distribuční síť a jejich řízení, aby nedocházelo k nestabilitě sítě.

Práce je rozdělena na dvě hlavní části – teoretickou a praktickou. Teoretická část tvoří podklad pro praktickou část. Cílem práce je vytvořit návrh fotovoltaické elektrárny a s tím související ekonomické vyhodnocení projektu. Práce by měla investorovi pomoci při rozhodování o investici do fotovoltaické elektrárny, neslouží jako projektová dokumentace.

# 1. TEORETICKÁ ČÁST

## 1.1 Fotovoltaická elektrárna

Fotovoltaická elektrárna patří mezi skupinu obnovitelných zdrojů elektrické energie. Využívá přímé metody přeměny slunečního záření na elektrickou energii díky fotoelektrickému jevu na polovodičových diodách. Jednotlivé fotodiody tvoří fotovoltaické články, ty jsou spojovány do větších celků – fotovoltaických panelů. Fotovoltaický panel je schopen vyrábět elektrickou energii i bez přímého slunečního záření (při zatažené obloze), a to díky takzvanému difúznímu záření. [1]

## 1.2 Solární energie

Sluneční záření patří mezi nejčistší a nejdostupnější zdroje energie na Zemi. Slunce je zdrojem zářivé energie v celém rozsahu spektra od nejmenších vlnových délek rentgenového a ultrafialového záření, až po metrové délky záření rádiového. Světelné a infračervené záření o vlnové délce 0,2  $\mu\text{m}$  až 3  $\mu\text{m}$  je však nejčetnější (lidské oko vnímá záření v rozsahu 0,38 až 0,76  $\mu\text{m}$ ). Hmotnost Slunce je asi 330 000krát větší než hmotnost Země a představuje 99,8 % hmotnosti sluneční soustavy. [2]

Stáří Slunce se odhaduje na 4,6 miliard let, což je řadí mezi hvězdy středního věku. Předpokládá se, že bude svítit ještě asi 5 až 7 miliard let. Teplota na povrchu Slunce je přibližně 5800 K, proto je lidé vnímají jako žluté (i když maximum jeho vyzařování je v zelené části viditelného spektra). Průměr Slunce je zhruba 1 400 000 km, což je asi 109 průměrů Země. Jeho objem je tedy asi 1,3 milionkrát větší než objem Země. Hustota Slunce je průměrně 1400  $\text{kg m}^{-3}$ . Slunce je koule žhavého plazmatu, která neustále produkuje ohromné množství energie. Jeho výkon je zhruba  $4 \times 10^{26}$  W, z čehož na Zemi dopadá asi 45 miliardtin. Přibližně polovina zářivého toku Slunce je pohlcena zemským povrchem a následně je vyzářena ve formě IR záření do vesmíru. Velká část energie je spotřebována k odpaření vody v oceánech.

V jádru slunce probíhá termonukleární reakce. V oblasti atmosféry potom vzniká elektromagnetické záření. Na samotném povrchu Slunce se vytváří sluneční vítr (emitace protonů,  $\alpha$  částic a elektronů).

Sluneční záření lze rozdělit na přímé a difúzní. Difúzní záření vzniká rozptýlením světla při odrazu od molekul plynů, prachu nebo mraků v atmosféře planety. [2]

Pro nás nejvýznamnější oblast záření je přibližně 400 až 650 nm, záření těchto vlnových délek je pro člověka totiž viditelné. V této oblasti také na Zemi dopadá největší množství energie (asi tři čtvrtiny). Energeticky významné je ještě takzvané blízké infračervené záření v oblasti od 650 nm do přibližně 2000 nm. Naproti tomu většina ultrafialového záření je pohlcena ozónem ve stratosféře a na povrch Země se vůbec nedostane. [3]

## 1.3 Fotovoltaický článek

Je to zařízení využívající vnitřního fotoelektrického jevu. Fotovoltaický článek je tvořen polovodičovou diodou, která obsahuje jeden nebo více PN přechodů.

Jako nejvhodnější materiál pro fotovoltaiku se jeví křemík. Je tomu tak hned z několika důvodů, je k dispozici prakticky v neomezeném množství (zhruba 1/3 zemské kůry je tvořena oxidem křemičitým), není jedovatý a nemá tedy nepříznivý vliv na životní prostředí. Technologické zpracování a následné vytváření křemíkových struktur je také velmi dobře zvládnuté. Křemík absorbuje pouze světlo o vlnové délce kratší než 1  $\mu\text{m}$ . Tomu odpovídají fotony o energii větší než 1,1 eV. Je to tedy část infračerveného spektra, celé viditelné a ultrafialové spektrum. Dochází tedy k absorpci větší části z celého slunečního spektra. Dopadne-li na křemík foton s energií menší než 1,1 eV prochází skrz a není absorbován. Naopak fotony s energií větší než 1,1 eV jsou v křemíku absorbovány a generují kladné a záporné náboje. Energetický rozdíl mezi šířkou zakázaného pásu je přeměněn na teplo, a to je hlavním důvodem, proč se teoretická účinnost křemíkových solárních článků pohybuje okolo 30 %. Vyšší teoretické účinnosti je možné dosáhnout u článků složených z různých materiálů a s různou absorpční hranou nebo koncentrací světla, která logaritmicky zvyšuje získané napětí. Elektrické vlastnosti křemíku (odstup mezi pásmy, pohyblivost nosičů náboje) umožňují jeho využití v oblasti vysokých výkonů a při všech na Zemi běžně se vyskytujících teplotách. [4]

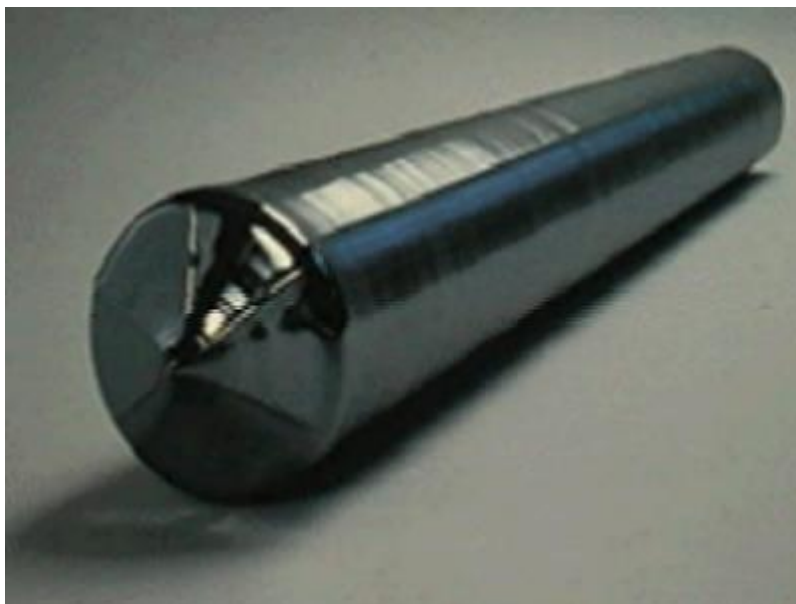
Protože v sobě však nemá volné elektrony přidávají se do něj příměsi pro zvýšení vodivosti. Jako příměsi se využívají nejčastěji bór a fosfor. Napětí fotovoltaického článku je pak dáno použitým polovodičem. U zmiňovaného křemíku je to přibližně 0,6 V. Udává se však, že při maximálním možném výkonu fotovoltaického článku tato hodnota klesá přibližně o 0,05-0,1 V. Pro dosažení požadovaného napětí se články obvykle zapojují do sériového zapojení o 36 nebo 72 článcích, které poskytují 18 nebo 36 V. Tyto sériově nebo paralelně spojené články potom tvoří fotovoltaické panely.

### 1.3.1 Monokrystalické články

Nejlepším typem fotočlánků jsou monokrystalické články. Jsou vyráběny z velmi čistého monokrystalického křemíku. Všechny krystaly křemíku mají stejnou orientaci podobně jako u diamantu. Tento typ článku je nejlepší především z důvodu stability výkonu, ale také vysoké životnosti. Proti tomu jsou však velmi nákladné na výrobu. Používají se proto především v oblastech s velkým množstvím přímého slunečního záření nebo u systému s automatickým natáčením panelů kolmo k dopadajícím slunečním paprskům.

Nejčastěji se vyrábí tzv. Czochralského metodou z ingotů monokrystalického křemíku. Metoda spočívá v pomalém tažení roztaveného čistého křemíku s příměsí boru pro vyšší elektrickou vodivost. Vzniklé ingoty se řezou speciálními pilami na plátky o tloušťce 0,25 až 0,35 mm. Tyto plátky se vyleští pro odstranění nerovností a zbaví se všech nečistot. Na připravený plátek křemíku se nanese tenká vrstva fosforu, čímž se

získá žádoucí velkoplošný přechod PN. Obvyklá účinnost je 16-20 %, na trhu jsou však i panely s účinností přes 20 %. [5]



*Obrázek 1 Křemíkový ingot [5]*

### **1.3.2 Polykrystalické fotočlánky**

Tyto články se vyrábějí z méně kvalitního, a ne tolik čistého polykrystalického křemíku jako monokrystalické články. V článku jsou viditelné různě orientované krystaly křemíku. Mají menší účinnost než monokrystalické články cca 14-18 %. Proti monokrystalickým článkům potřebují pro stejný výkon větší plochu panelu, avšak jejich cena je nižší díky menší náročnosti výrobní metody. [6]

Polykrystalické články jsou v dnešní době nejvíce využívané pro fotovoltaické panely. Vyrábějí se metodou blokového lití. Křemík se ve vakuu zahřeje na 1500 °C a v grafitovém kelímku se regulovaně ochlazuje až do blízkosti bodu tání. Tak vzniknou polykrystalické křemíkové bloky o rozměrech 40 x 40 cm o výšce 30 cm. Bloky se nejprve rozřezou na tyče a ty pak na destičky. [1]

### **1.3.3 Amorfni články**

Amorfni články se vyrábí rozkladem křemíkových sloučenin ve vodíkové atmosféře. Amorfni křemík netvoří pravidelnou krystalickou strukturu. Dají se takto vytvářet velice tenké vrstvy křemíku na skleněné či plastové podložce, což znamená malou spotřebu materiálu. Touto metodou se vyrábí velmi tenké a ohebné fotovoltaické články. Tyto články lze použít jako krycí fólie na střechy a podobně.

Nepravidelná struktura v těchto článcích má v sobě však větší množství poruch než krystalické články. Z tohoto důvodu mají amorfní články menší účinnost, která se pohybuje v rozmezí 4–13 %. Pro srovnatelný výkon jako krystalické tedy potřebují 2,5krát větší plochu. Výhodou je nízká pořizovací cena. [6]



Obrázek 2 Monokrystalický, polykrystalický a amorfní článek [45]

#### 1.3.4 Organické články

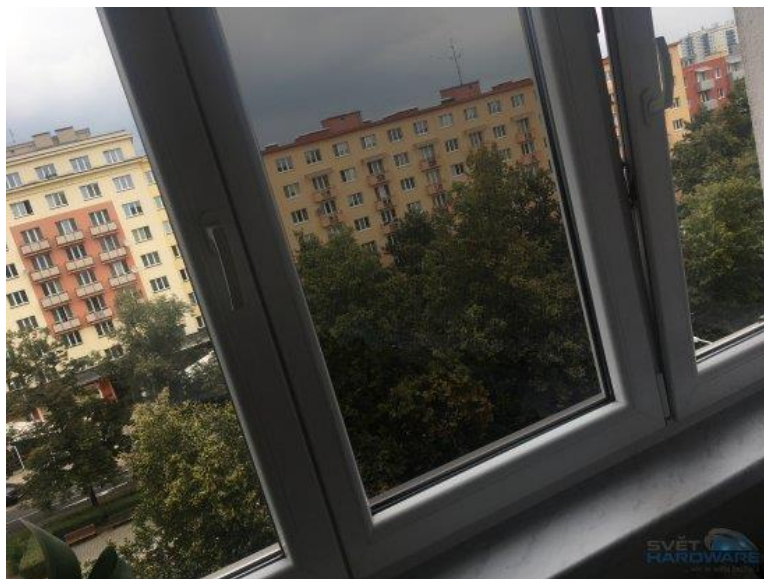
Organické panely využívají místo křemíku, který je v panelech klasických, polovodičové organické materiály na bázi uhlíku – v podstatě jsou tedy blízké plastům. Jsou levné, podobně jako plasty mohou být ohebné, a navíc mohou být průsvitné nebo dokonce průhledné a velmi lehké.

Mohou být tenké i jen několik nanometrů, takže se dají teoreticky umístit na jakékoliv plochy. A navíc se dají vytisknout na 3D tiskárně. Až donedávna se ale potýkaly s několika problémy – tím hlavním byla nižší účinnost.

Články s křemíkovou krystalickou mříží mají pevnou atomovou vazbu, ve které se vodivé částice dokážou přenášet velmi rychle a daleko. Zatímco organické materiály mají pružné vazby, které neumožňují takovou vodivost.

Dalším problémem těchto článků je malá odolnost vůči vlivům okolního prostředí. Zatímco křemík v klasických panelech je velmi odolný, organické materiály jsou citlivé na vlhkost, kyslík i sluneční svit. Jedním z řešení problému je izolace panelů do kapsulí, což ale snižuje jejich efektivitu a současně to navyšuje jejich cenu. [7]

Zatím se u organických panelů podařilo dosáhnout účinností mírně přes 10 % a mají také velmi nízkou životnost. Jelikož jsou však velmi tenké, mohou se umístit například jako fólie do dvojitých oken, což by je izolovalo od vnějších povětrnostních vlivů. [8]



*Obrázek 3 Organický panel umístěný v okně [9]*

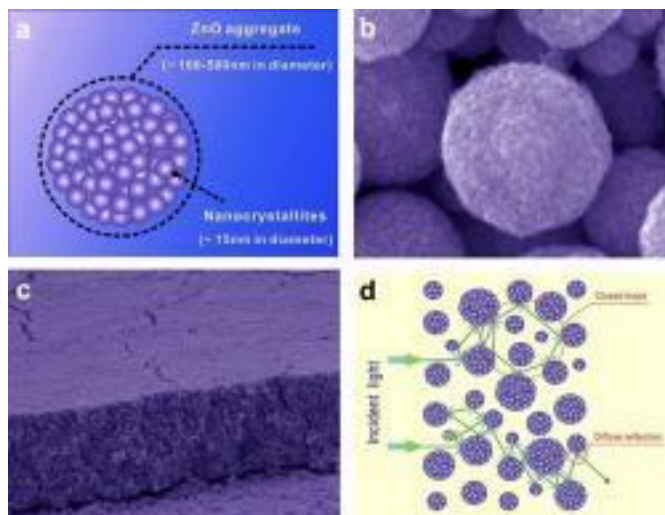
### **1.3.5 Barvocitlivé články**

Barvocitlivé solární články poprvé přesáhly čtyřprocentní účinnost přeměny energie na počátku devadesátých let minulého století. Poté na dlouhou dobu dostaly přednost účinnější křemíkové články. Barvocitlivé články DSSC (Dye-sensitized solar cells) byly přitom mnohem levnější a celkově jednodušší na výrobu než jejich krystalické křemíkové protějšky. Levnější a snadnější výroba je důvodem, proč se nyní věnuje tolik úsilí jejich vývoji s cílem, co nejdříve dokončit vývoj a začít vyrábět nízkonákladové a vysoce účinné solární články. Na této cestě velmi pomáhá nanotechnologie.

Základem DSSC článků jsou vysoce porézní elektrody s obrovskou specifickou plochou povrchu, v řádu  $100 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ , jejich póry mají průměr okolo 20 nm. Elektrody jsou vyrobeny z nanokrystalů oxidu titaničitého ( $\text{TiO}_2$ ) s velmi tenkou vrstvou barevných molekul na povrchu. Když jsou tyto molekuly osvětleny, zachytí fotony a vygenerují elektrony a díry. Volné elektrony se okamžitě dostávají do  $\text{TiO}_2$  a jsou přeneseny na elektrodu. Regenerace barevných molekul je doprovázena zachycením elektronů z kapalného elektrolytu, který zcela vyplňuje mezery v porézní  $\text{TiO}_2$  elektrodě a je spojen s elektrodou opačné polarity.

Účinnost článků závisí především na schopnosti zachytit co nejvíce dopadajících fotonů a dále na transportu elektronů. V případě barvocitlivých článků jsou to nanokrystaly, které tvoří nanoporezní elektrody s žádoucí plochou pro pohlcování světla barevnými molekulami. Čím větší je jejich povrch, tím více fotonů dokážou zachytit. U barvocitlivých článků je zatím dosahováno maximálních účinností do 11 %, při běžném použití potom okolo 5 %. [10]





Obrázek 4 (a) ilustrace shluků nanokrystalů oxidu zinečnatého (b) submikronové shluky nanokrystalů ZnO a (c) fotoelektrodová vrstvička tvořena shluky ZnO (d) přenos světla v porézní elektrodě [10]

## 1.4 Faktory ovlivňující výkon fotovoltaických panelů

### 1.4.1 Sluneční záření

Celková energie dopadajícího slunečního záření je ovlivněna především zeměpisnou polohou, orientací fotovoltaického systému ke slunci, celkovou dobou slunečního svitu, nadmořskou výškou a samozřejmě také čistotou ovzduší.

Teoretické množství energie dopadající za jednotku času na jednotkovou plochu mimo zemskou atmosféru se nazývá sluneční konstanta a její hodnota je přibližně  $I_0 = 1360 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Mírou zmenšení intenzity tohoto záření je tzv. součinitel znečištění  $Z$ , který závisí na obsahu příměsí a atmosférickém tlaku vzduchu. Charakteristické hodnoty součinitele znečištění jsou uvedeny v *Tabulka 1*.

*Tabulka 1 Typické hodnoty součinitele znečištění*

Typ oblasti	součinitel znečištění $Z$
místa nad 2000 m.n.m.	2,0
místa nad 1000 m.n.m.	2,5
venkov bez průmyslových exhalací	3,0
města a průmyslová střediska	4,0
silně znečištěné prostředí	5,0

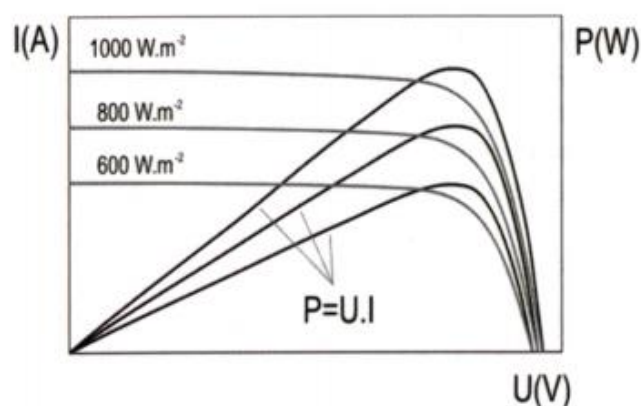
Intenzitu přímého slunečního záření dopadající na obecně položenou plochu popisuje rovnice (1.4.1).

$$I_p = I_0 \cdot A^{-Z} \cdot \cos\gamma \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (1.4.1)$$

kde  $I_0$  je sluneční konstanta,  $Z$  je součinitel znečištění,  $\gamma$  je úhel dopadu slunečních paprsků.

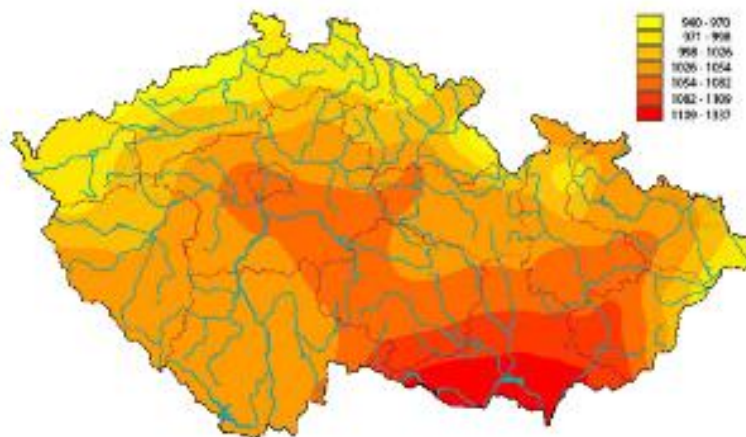
Optimální úhel pro maximální využití slunečního záření se v průběhu roku mění následovně:

- letní období  $30^\circ - 45^\circ$
- zimní období  $60^\circ - 90^\circ$  [2]



Obrázek 5 Vliv intenzity slunečního záření na výkon FV článku [2]

Česká republika leží na severní polokouli přibližně ve středu evropského kontinentu. Nejsou zde tak ideální podmínky jako v rovníkových oblastech, ovšem i na našem území jsou podmínky pro fotovoltaické elektrárny poměrně dobré. Celková doba slunečního svitu bez oblačnosti je na našem území od 1400 do 1700 hodin za rok. Tato hodnota se odvíjí především od konkrétní polohy na území ČR. Nejlepší obraz o tom, kde je vhodné postavit fotovoltaickou elektrárnu nám poskytuje mapa ročního úhrnu globálního slunečního záření na Obrázek 6.



Obrázek 6 Roční úhrn globálního slunečního záření v ČR [11]

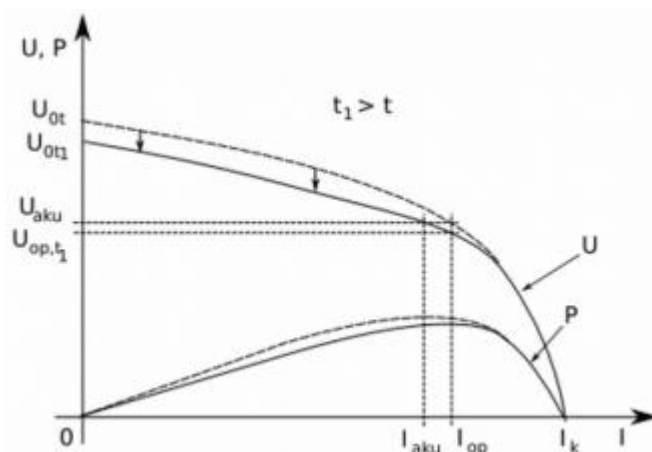
V podmínkách České republiky dopadne v průběhu roku na jeden  $\text{m}^2$  zhruba 950–340 kWh sluneční energie, z čehož asi 75 % představuje letní období. Pro návrh fotovoltaické elektrárny je velmi důležité tento faktor uvažovat. Pokud budeme počítat s účinností fotovoltaického panelu 19 %, pak nám vyjde, že z jednoho metru čtverečního vyrobíme asi 181–255 kWh elektrické energie za rok. Vyšších hodnot budeme dosahovat

především na jihu Moravy, naopak nižších na severu a severozápadě Čech. V těchto úvahách je samozřejmě uvažován pouze faktor úhrnu slunečního záření, nikoli ostatní vlivy ovlivňující výkon fotovoltaických panelů. [11]

### 1.4.2 Teplota

Dalším zcela zásadním faktorem ovlivňujícím výkon fotovoltaických článků je teplota. Při zvyšování teploty se na PN přechodu článku zvýší difúzní hodnota minoritních nosičů náboje a zmenší se energetická mezera polovodiče, čímž se zvyšuje proud nakrátko. Tento nárůst je však minimální. Při dlouhotrvajícím dopadu intenzivního slunečního záření může teplota vzduchu dosahovat 40 °C a povrchová teplota až 80 °C. Při takovýchto teplotách dochází ve fotočlánku k poklesu napětí naprázdno, což vede ke snížení zatěžovací charakteristiky a tím i poklesu dodávaného výkonu (viz *Obrázek 7*). Pro fotovoltaické články z krystalického křemíku je pokles napětí okolo 0,4 %/°C a pokles účinnosti přibližně 0,5 %/°C, přičemž standartní testovací teplota parametrů panelů je 25 °C. [2]

V důsledku těchto teplotních závislostí a ostatních vlivů (např. intenzita slunečního záření) dosahují fotovoltaické elektrárny instalované na našem území nejvyšších účinností v jarních a podzimních měsících.



*Obrázek 7 Vliv teploty na výkon fotočlánku [2]*

### 1.4.3 Stínění

Významným faktorem, který může ovlivňovat výkon fotovoltaických panelů je také jejich zastínění. To může být buď způsobené okolními objekty (strom, komín, budova, atd.) nebo také znečištěním panelů (prach, pyl, listí, sníh). Jelikož se panely tradičně zapojují do řetězců v sérii, má zastínění i jednoho panelu vliv na výkon celého řetězce. [2]

## 1.5 Recyklace fotovoltaických panelů

Využívání solární energie je šetrné k životnímu prostředí – při výrobě energie tohoto druhu nevznikají žádné emise, avšak nezapomínejme, že jisté množství emisí vzniká při výrobě samotného systému, poněvadž se jedná o technologie poměrně náročné.

Pro zachování dobrých životních podmínek je třeba co nejvíce využívat alternativní zdroje energie a snižovat spotřebu fosilních paliv, které vytvářely rostliny miliony let. Při spalování fosilních paliv totiž vznikají skleníkové plyny (methan a oxid uhličitý), které mění naše životní prostředí, zejména atmosféru. Růst koncentrace těchto plynů v atmosféře vede ke globální změně klimatu.

Za přímé dopady na životní prostředí můžeme počítat například zabrání velkého množství půdy, což se dá považovat za narušení krajiny. Za nepřímé dopady potom považujeme emise při výrobě a recyklaci fotovoltaických článků, spotřebovanou energii nebo také dopravu. [12]

Většina fotovoltaických článků, které dnes můžeme vidět na střeších domů a podobně mají určitou životnost. Životnost fotovoltaického panelu je definována poklesem výkonu o 20 %. Téměř všichni výrobci běžně dostupných krystalických a tenkovrstvých panelů garantují maximální pokles účinnosti o 10 % za 10 nebo 12 let a 20 % za 25 let. V praxi se na nejstarších instalacích pokles účinnosti po 25 letech pohybuje kolem 6 až 8 %. Skutečná životnost proto bude výrazně delší. [13]

V ČR výrazně převažují křemíkové panely, u kterých většinu hmotnosti tvoří sklo a hliník, u tenkovrstvých je to přes 95 %. Podíl materiálů na konstrukci fotovoltaického panelu a výtěžnost těchto materiálů při recyklaci je v *Tabulka 2*. [14]

*Tabulka 2 Materiálové složení panelů z krystalického křemíku*

Materiál	Složení panelů (kg/kWp)	Podíl (%)	Výtěžnost recyklace (%)
sklo	60	67	>95
hliník	16	18	100
plasty	10	11	-
křemík	3	3	85
junction box	2	2	-
měď	1	1	80

Pro usnadnění recyklace jsou zkoušeny metody spočívající v demontáži jednotlivých komponent. Nejčastěji se demontuje sklo a hliník, u kterých je největší výtěžnost recyklace. Recyklace skla snižuje spotřebu energie na jeho výrobu asi o 40 %, v případě hliníku až o 95 %. Dnes jsou na trhu nabízeny i panely bez hliníkového rámu. [15]

V nejbližších 10 letech lze očekávat, že množství panelů vyřazených z provozu bude velmi nízké. Většina z těchto panelů bude poškozena při nehodách v dopravě a živelných pohromách. Odhady se pohybují od několika set do 1000 tun ročně. Ve srovnání

s celkovou produkcí odpadů v České republice se jedná o zlomky promile. Kvalitní panely instalované v letech 2009 až 2011 budou vyřazovány z provozu ve větších objemech pravděpodobně až po roce 2040.

Panely nižší kvality zřejmě budou vyřazovány dříve, jejich množství je však obtížné odhadnout. Na konci roku 2010 v horečné snaze dokončit projekty velkých fotovoltaických elektráren za každou cenu byli investoři ochotni koupit v podstatě cokoli. Importu výrobků nízké kvality se snažily zabránit banky tím, že si vytvářely seznamy doporučených typů panelů, respektive dodavatelů. Ani nekvalitní panely však nemusí být vyřazeny z provozu. Nejčastějším problémem je nižší výkon nebo rychlejší pokles účinnosti.

Za ekonomicky rentabilní je považována kapacita recyklační linky kolem 20 tis. tun panelů ročně. Taková množství panelů lze očekávat až po roce 2040. Do té doby bude výstavba specializované recyklační linky nerentabilní. Využití univerzálních recyklačních metod, respektive zařízení na druhou stranu nezaručuje efektivní využití speciálních fotovoltaických materiálů. Z uvedených důvodů by vhodným řešením minimálně do roku 2030 bylo přistoupení České republiky k systému PV Cycle a recyklace panelů na stávajících linkách v Německu. [15]



Obrázek 8 Rozvoj fotovoltaiky v Německu a ČR [15]

Za zpětný odběr a recyklaci panelů bylo již dopředu zapláceno. Zaplatil za ni výrobce panelů nebo jejich dovozce, u starších elektráren zaplatili jejich provozovatelé. Recyklační poplatek je tedy součástí ceny každého fotovoltaického panelu.

Nejdůležitější povinnosti a odpovědnost všech zúčastněných subjektů při předání ke zpracování, využití a odstranění elektroodpadu ze solárních panelů stanovuje zákon č. 185/2001 Sb. Zákon o odpadech v § 37. Každý výrobce má povinnost na svoje náklady zajistit zpětný odběr elektrického zařízení a oddělený sběr elektroodpadu z fotovoltaických panelů. Majitelé menších elektráren do 30 kWp mají zákonem určenou

možnost panely zdarma odevzdat na místa zpětného odběru (většina sběrných dvorů). Provozovatelé fotovoltaických elektráren s výkonem větším než 30 kWp si domlouvají zpětný odběr vysloužilých panelů individuálně s provozovatelem tzv. kolektivních systémů. Pro výrobce potom platí povinnost zajistit zpětný odběr a recyklaci, která je předplacena v účelovém fondu. Každý majitel nebo provozovatel elektrárny má tedy povinnost provést demontáž panelů ze střechy nebo z konstrukcí na pozemku a na své náklady je následně předat do systému zpětného odběru elektroodpadu, neplatí přitom žádné poplatky.

Výši recyklačního poplatku stanovuje vyhláška č. 352/2005 Sb. Vyhláška o podrobnostech nakládání s elektrozařízeními a elektroodpady, konkrétně příloha č. 10. Minimální sazba ekologického poplatku činí 8,50 Kč/kg. Běžně dostupný fotovoltaický panel o výkonu 380 Wp váží cca 23 kg. Za tento panel tedy výrobce před uvedením na trh zaplatil recyklační poplatek ve výši 195,50 Kč. [16]

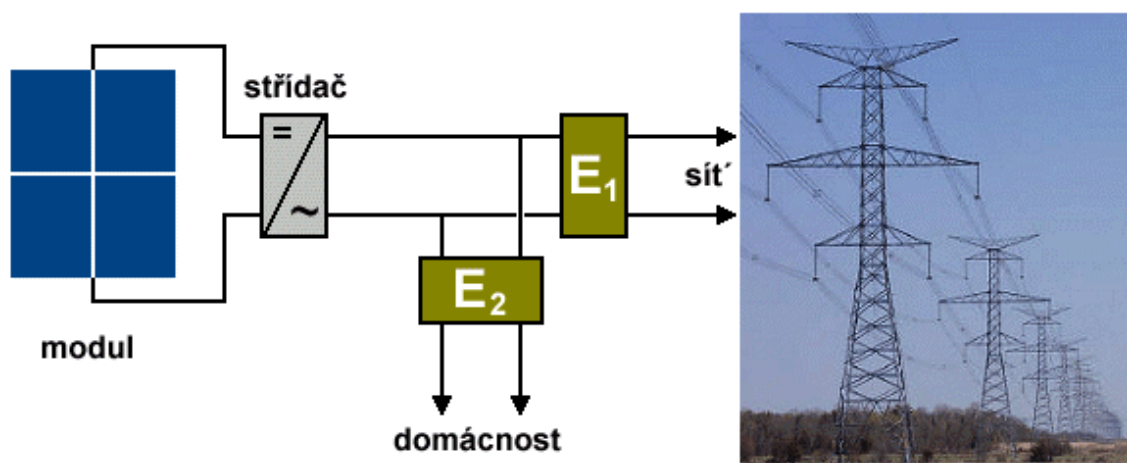
### **1.5.1 Termická recyklace**

V současnosti zřejmě nejpokročilejší metodu recyklace panelů navrhla a odzkoušela firma Deutsche solar AG. Celé panely jsou zavezeny do speciální pece, kde jsou zahřívány na teplotu nad 500 °C. Při této teplotě se plastové materiály odpaří, následně jsou v další komoře řízeně spalovány. Ostatní materiály jsou separovány ručně. Jsou-li panely nepoškozené, lze vytěžit až 85 % křemíku pro nové použití. Spotřebu energie na výrobu nových panelů je díky tomu možno snížit až o 70 %. Metoda je použitelná pro všechny stávající konstrukce panelů z krystalických křemíkových článků. [15]

## 1.6 Typy připojení k rozvodné síti

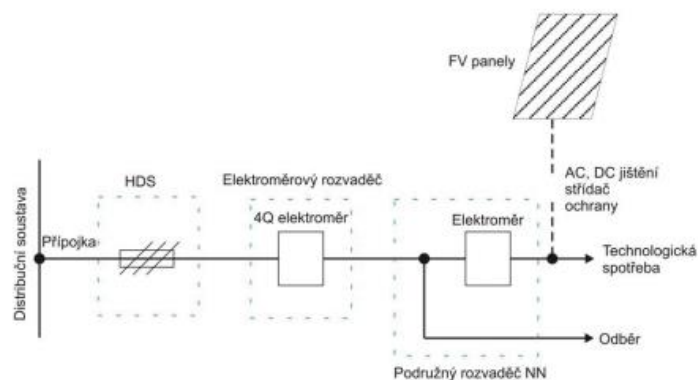
### 1.6.1 Systémové připojení k síti – grid on

Velké fotovoltaické systémy mohou být zapojeny tak, aby část nebo všechnu vyrobenou elektrickou energii dodávaly do veřejné rozvodné sítě. Označují se také jako systémy "grid-on". Zdrojem je fotovoltaický panel (obvykle větší množství), který produkuje stejnosměrné napětí. Toto napětí je nejprve nutné ve střídači transformovat na střídavé napětí 230 V/50 Hz. Zařízení musí splňovat přísné požadavky na bezpečnost, odolnost proti zkratu a přetížení a na správnou synchronizaci. Při dostatku slunečního záření jsou spotřebiče napájeni z fotovoltaického modulu, v noci odebírají energii z rozvodné sítě. Elektroměry  $E_1$  a  $E_2$  měří energii odevzdanou nebo odebranou z rozvodné sítě. [17]



Obrázek 9 Zjednodušené schéma grid-on sítě [17]

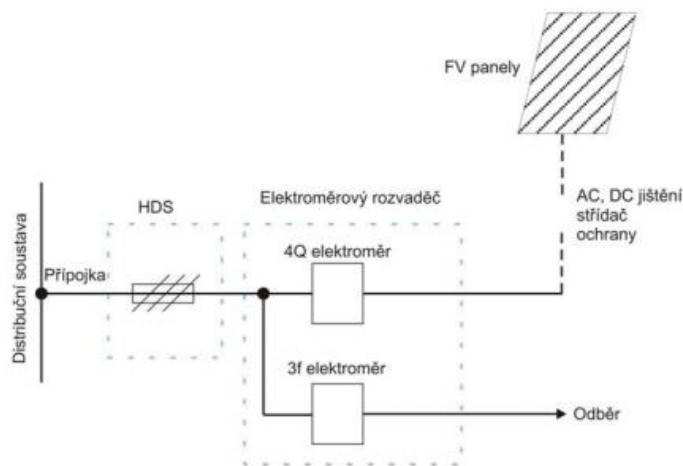
Velkou výhodou těchto systémů je, že je veškerá vyrobená elektrická energie využita. Připojení fotovoltaických systémů do elektrizační soustavy může být provedeno ve dvou základních variantách.



Obrázek 10 Zapojení systému pro vlastní spotřebu [2]



Obrázek 10 představuje systém zapojení v tzv. Zeleném bonusu. Za hlavní domovní skříň (HDS) je osazen čtyřkvadrantový elektroměr (4Q) a za ním je napojený domovní rozvod a elektrárna pomocí dalšího elektroměru. Toto zapojení se využívá v případech, kdy je převážná část vyrobené elektrické energie využita pro vlastní spotřebu objektu s instalovaným fotovoltaickým systémem.



Obrázek 11 Zapojení systému pro dodávku do sítě [2]

Obrázek 11 představuje systém zapojení v tzv. Výkupním tarifu. Fotovoltaická elektrárna je v tomto případě připojena mezi stávající elektroměr a hlavní domovní skříň (HDS) pomocí čtyřkvadrantového elektroměru. Tento systém zapojení se využívá v případech, kdy je veškerá vyrobená elektrická energie dodána výrobcem do elektrizační soustavy. [2]

### **Pravidla pro připojení k síti**

Provozovatelé distribuční sítě se řídí legislativou vycházející z energetického zákona (č. 458/2000 Sb.), vybranými vyhláškami pro oblast energetiky vydanými Ministerstvem průmyslu a obchodu (MPO) a vyhláškami Energetického regulačního úřadu (ERÚ) – vyhláška č.16/2016 Sb, o podmínkách připojení k elektrizační soustavě. Pravidla provozování distribuční soustavy stanovují minimální technické, plánovací, provozní a informační požadavky pro připojení uživatelů k distribuční soustavě a pro její užívání. O připojení fotovoltaických elektráren pojednává konkrétně příloha 4 Pravidla pro paralelní provoz výroben a akumulacních zařízení se sítí provozovatele distribuční soustavy. Výkonová pásma výrobních modulů se dělí na kategorie vyplývající z české legislativy. Rozdělení těchto kategorií ukazuje *Tabulka 3*.

Tabulka 3 Výkonové kategorie výrobních modulů

Kategorie výrobního modulu	Limit	Podkategorie	Hranice provozovatele distribuční soustavy
A	800 W	A1	$\geq 800 \text{ W}; \leq 11 \text{ kW}$
		A2	$> 11 \text{ kW}; < 100 \text{ kW}$
B	1 MW	B1	$\geq 100 \text{ kW}; < 1 \text{ MW}$
		B2	$\geq 1 \text{ MW}; < 30 \text{ MW}$
C	50 MW	C	$\geq 30 \text{ MW}; < 75 \text{ MW}$
D	75 MW	D	$\geq 75 \text{ MW}$

Podle celkového výkonu výroby jsou posuzovány nesynchronní výrobní moduly, do kterých spadají právě fotovoltaické elektrárny. Do sítí nn jsou zpravidla připojovány kategorie A1 a A2. U výroben připojovaných do sítí nn je při jednofázovém připojení omezen jejich výkon v jednom přípojném bodě na 3,7 kVA/fázi, přičemž nesymetrie u fázových vodičů nesmí za normálního provozního stavu překročit 3,7 kVA. Maximální výkon na výstupu střídače (maximální 10minutová střední hodnota) musí být omezen na nejvýše 110 % jmenovitého výkonu. Požadavky na připojení výroben k elektrizační soustavě vyplývají z nařízení Evropské komise z roku 2016 – tzv. RfG. [18]

Tabulka 4 Požadavky podle RfG pro kategorie A1 a A2

Požadavky	A1	A2
Frekvenční rozsahy a časové limity pro výrobní modul	X	X
Hodnota rychlosti změny frekvence	X	X
Logické rozhraní pro přerušení dodávky činného výkonu	X	X
Podmínky pro automatické připojení k soustavě	X	X
Rozhraní pro snížení činného výkonu		X
Komunikace a výměna informací		X
Dodávka jalového výkonu		X

Nařízení RfG zavádí kodex sítě, jenž stanoví požadavky na připojení výroben elektřiny, jmenovitě synchronních výrobních modulů, nesynchronních výrobních modulů a nesynchronních výrobních modulů na moři, k propojené elektrizační soustavě. Přispívá tak k zajištění spravedlivých podmínek hospodářské soutěže na vnitřním trhu s elektřinou, k zajištění bezpečnosti provozu soustavy a integrace obnovitelných zdrojů energie do soustavy a k usnadnění obchodu s elektřinou v celé Unii. *Tabulka 4* shrnuje požadavky vyplývající z RfG pro výrobní typy A1 a A2.

Pro zahájení řízení o souhlas s připojením výroben do sítě je zapotřebí předat provozovateli distribuční sítě:

- žádost o připojení do distribuční sítě
- katastrální mapu s vyznačením pozemku nebo výrobní, výpis z katastru nemovitostí
- údaje o zkratové odolnosti předávací stanice
- popis ochran s přesnými údaji o druhu, výrobci, zapojení a funkci
- příspěvek vlastní výrobní ke zkratovému proudu v místě připojení k síti, jeho trvání a průběh
- u střídačů, měničů frekvence a synchronních generátorů s buzením napájeným usměrňovači: zkušební protokoly k očekávaným proudům harmonických a mezipharmonických, impedance pro frekvence hromadného dálkového ovládání (183 až 283 Hz)

Nově připojované výrobní do distribuční soustavy musí být připraveny pro instalaci dálkového ovládání, tzn. instalování ovládacího obvodu komunikační cesty mezi elektroměrovým rozváděčem a novou výrobní.

Připojení k síti provozovateli distribuční sítě se děje v místě připojení s oddělovací funkcí, přístupným kdykoliv personálu provozovatele distribuční soustavy. U výroben s instalovaným výkonem 100 kVA a více musí být spínač s oddělovací funkcí vybaven dálkovým ovládáním a signalizací stavu. Posouzení možnosti připojení kvůli vlivům na síť vychází z impedance sítě (zkratového výkonu) a údaji o vlivu výrobní na napětí v distribuční soustavě v místě připojení. [19]

### **Dálkové řízení**

Výrobní elektřiny kategorie A1 i A2 musí být vybaveny logickým rozhraním, které zajistí přerušení dodávky činného výkonu na výstupu do 5 s od obdržení pokynu na vstupu. Odpínací prvek musí být nainstalován tak, aby zůstal funkční i při silovém odpojení výrobní od distribuční sítě a musí umožňovat automatizaci tohoto procesu.

Výrobní z kategorie A2 a vyšší musí být také vybaveny logickým rozhraním, které umožní začlenění těchto výroben do systému dálkového řízení provozovatele distribuční sítě. Jde především o řízení činného a jalového výkonu. [19]

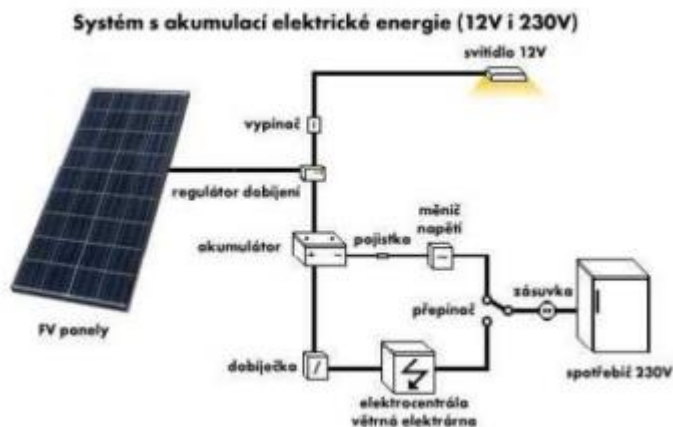
### 1.6.2 Samostatný (ostrovní) systém – grid off

Jsou to systémy, které pracují samostatně mimo distribuční síť. Nejčastěji se proto používají v lokalitách, kde veřejná distribuční síť není dostupná (horské chaty, dopravní signalizace, atd.).

U těchto systémů je pro uvedení do praxe vhodné použít akumulátorové baterie, které zajistí dodávku energie i přes noc nebo při slabším slunečním svitu. Tyto baterie musí být uzpůsobeny pro fungování s vysokou účinností i při nízkém nabíjecím proudu, musí být vhodné pro cyklický provoz a mít dlouhou životnost. Způsob nabíjení a vybití má velký vliv na životnost baterií, proto se tyto systémy vybavují solárními regulátory (zamezují poškození baterií a ztráty energie). V praxi se nejčastěji uplatňují lithium-iontové baterie.

Hlavní nevýhodou těchto systémů je nestálá produkce elektrické energie, což nemusí vždy vyhovovat poptávce. Při návrhu takovéto elektrárny je nutné uvažovat i spotřebiče, které bude napájet a přizpůsobit instalovaný výkon a komponenty celé soustavy. [10]

Speciálním typem grid off systémů jsou takzvané hybridní systémy. Jsou to fotovoltaické systémy doplněné jiným alternativním zdrojem elektrické energie. Používají se v místech, kde je po elektřině celoroční poptávka, protože v zimním období panely neprodukují dostatek elektrické energie. Nejčastěji se zde uplatňuje kombinace fotovoltaické elektrárny například s větrnou elektrárnou, elektrocentrálou nebo vodní elektrárnou. [11]



Obrázek 12 Hybridní systém s akumulací elektrické energie [11]

## 1.7 Návrh fotovoltaické elektrárny

Při návrhu fotovoltaických systémů je třeba dbát na především na bezpečnost a spolehlivost provozu, maximalizaci energetického zisku, minimalizaci ztrát. Každá fotovoltaická elektrárna umístěná ve venkovním prostředí musí být vybavena ochranou proti zásahu bleskem a přepětí, a to na obou stranách (DC i AC). Základním ukazatelem hodnocení výkonnosti elektrárny po uvedení do provozu je její provozní výkonnost (PR).

$$PR = \frac{E}{((G_E - U_0) \cdot A \cdot E_{ffm})} \quad (\%) \quad (1.7)$$

Kde

E.....celková vyrobená elektrická energie (Wh)

$G_E$ .....celková dopadající energie slunečního záření ( $\text{Wh}\cdot\text{m}^{-2}$ )

A.....celková plocha FV panelů ( $\text{m}^2$ )

$E_{ffm}$  .....účinnost FV panelů dle výrobce (%)

$U_0$ .....celkové množství energie slunečního záření, kterou není možno invertovat na elektrickou energii ( $\text{Wh}\cdot\text{m}^{-2}$ ) [2]

Základním kamenem návrhu fotovoltaické elektrárny bude tedy návrh optimálního výkonu elektrárny vzhledem ke spotřebě elektrické energie v daném odběrovém místě. Současně je nezbytné posoudit plochu (např. střechu) z hlediska velikosti vhodné plochy pro instalaci panelů.

Dalším krokem bude výběr vhodných komponent elektrárny a podání žádosti o připojení lokálnímu provozovateli distribuční sítě.

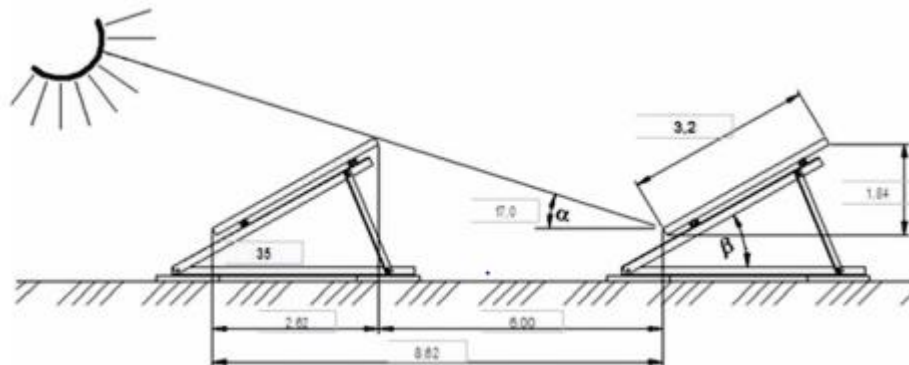
Základními prvky fotovoltaické elektrárny jsou především fotovoltaické panely a invertory (střídače). Další komponenty tvoří konstrukce pro umístění panelů, jističí prvky jak pro DC tak AC stranu, vodiče, ochrany, rozvodné skříně a nakonec elektroměry, případně systémy pro monitoring činnosti elektrárny.

### 1.7.1 Fotovoltaické panely

Při návrhu je velmi důležité zvolit správnou orientaci fotovoltaických panelů směrem ke slunci. Pro zeměpisné šířky České republiky je nejvhodnější panely orientovat směrem na jih (přesněji odklon o  $2^\circ$  na západ), uvádí se však, že odklon od jihu o  $20^\circ$  na obě strany sníží výkon elektrárny maximálně o 5 %. Ideální sklon panelů vzhledem ke kolmé ose je  $35^\circ$ . Jde o kompromis mezi letním a zimním obdobím, kdy se ideální sklon mění v důsledku dopadu slunečních paprsků, jak bylo již zmíněno v kapitole 1.6.1. Při osazení panelů svisle (např. na fasádu) bude pokles výkonu o cca 25 – 30 %. Pro taková použití jsou vhodnější amorfní panely, které nejsou tak citlivé na potřebu přímého slunečního záření a mohou při stejné ploše dodávat srovnatelný výkon s panely z krystalického křemíku.

Dalším důležitým bodem při dimenzování rozmístění panelů na ploché střeše je vzdálenost mezi jednotlivými řadami panelů, aby si vzájemně nestínily. Tato vzdálenost

se posuzuje podle nejhorší možné situace, kdy je Slunce těsně nad obzorem. Pokud se v okolí nachází například vyšší budova, která bude panely pravidelně zastiňovat, musí se sklon panelů tomuto vlivu přizpůsobit. [2]



Obrázek 13 Dimenzování rozmístění panelů [2]

Cena fotovoltaických panelů se odvíjí od řady faktorů. Levné řešení nabízí panely od asijských výrobců, ty však budou mít pravděpodobně nižší výkon a také kratší životnost. Pokud do ceny započítáme i náklady na instalaci a komponenty, vyjde metr čtvereční fotovoltaické elektrárny asi na 4 000 korun. [20]

Během posledních deseti let klesla cena panelů až o 80 %, v posledních dvou letech se však cena panelů mění jen minimálně. V následujících podkapitolách bude srovnáno několik panelů výkonu okolo 350 Wp od různých výrobců.

### **Hanwha Q Cells**

Hanwha Q Cells Co., Ltd. s hlavním sídlem v jihokorejském Seoulu je jednou z největších společností na trhu s fotovoltaickými panely. Jejich technologické a vývojové centrum se nachází v Německém Thalheimu. [21]

**Panel Q.PEAK DUO 350** – Technologie těchto panelů nabízí velmi vysokou účinnost i při velkých teplotních rozdílech. Vyznačují se také vysokou životností.

Tabulka 5 Parametry panelu Q.PEAK 350

Výkon (P <sub>mpp</sub> )	350 W
Jmenovité napětí (V <sub>mpp</sub> )	34,24 V
Maximální proud při zátěži (I <sub>mpp</sub> )	10,22 A
Napětí naprázdno (V <sub>oc</sub> )	40,70 V
Zkratový proud (I <sub>sc</sub> )	10,74 A
Účinnost (η)	≥19,5 %
Provozní teplota panelu	-40 °C až +85 °C
Typ článku	Monokrystalický

Počet článků v sérii	120 (6x20)
Rozměry	1740 x 1030 x 32 mm
Hmotnost	19,9 kg
Záruka na lineární pokles výkonu	10 let 93,1 % a 25 let 85 % jmenovitého výkonu
Cena	4 290 Kč

### **Panasonic**

Panasonic Eco Solutions Energy Management Europe je divize společnosti Panasonic, která nabízí udržitelná energetická řešení pro soukromé i komerční účely. Vývojem solárních článků se zabývá od roku 1975, současnou špičkou jsou panely typu HIT. [22]

**Panel HIT 340** – Jde o vysoce výkonný fotovoltaický panel. Solární článek HIT je vyroben z tenkého plátku křemíkového monokrystalu obklopeného ultratenkou vrstvou amorfního křemíku. Díky nejmodernější technologii výroby dosahuje tento produkt ve své oblasti špičkových provozních vlastností. V současné době jsou články Panasonic nejnákladnější na světě. Jsou však také poměrně drahé. [23]

*Tabulka 6 Parametry panelu HIT 340*

Výkon (P <sub>mpp</sub> )	340 W
Jmenovité napětí (V <sub>mpp</sub> )	59,70 V
Maximální proud při zátěži (I <sub>mpp</sub> )	5,70 A
Napětí naprázdno (V <sub>oc</sub> )	71,3 V
Zkratový proud (I <sub>sc</sub> )	6,13 A
Účinnost (η)	20,4 %
Provozní teplota panelu	-40 °C až +85 °C
Typ článku	Monokrystalický
Počet článků v sérii	-
Rozměry	1590 x 1053 x 40 mm
Hmotnost	19 kg
Záruka na lineární pokles výkonu	25 let 86,2 % jmenovitého výkonu
Cena	9 915 Kč

### **Canadian solar**

Canadian Solar Inc. je kanadská společnost zabývající se výrobou a vývojem fotovoltaických panelů a podílí se na řadě velkých solárních projektů. [24]

**Hiku POLY CS3L-350P** – Tento výkonný fotovoltaický panel je vyroben z polykrystalického křemíku, který má sice o něco nižší účinnost než monokrystalické panely, avšak vyznačuje se dobrou využitelností nepřímého slunečního záření. Další velkou výhodou polykrystalického panelu je nízká cena. [25]

*Tabulka 7 Parametry panelu Hiku POLY 350*

Výkon (Pmpp)	350 W
Jmenovité napětí (Vmpp)	66 V
Maximální proud při zátěži (Impp)	10,61 A
Napětí naprázdno (Voc)	40,2 V
Zkratový proud (Isc)	11,24 A
Účinnost ( $\eta$ )	18,9 %
Provozní teplota panelu	-40 °C až +85 °C
Typ článku	Polykrystalický
Počet článků v sérii	120
Rozměry	1765 x 1048 x 40 mm
Hmotnost	21,1 kg
Záruka na lineární pokles výkonu	25 let 84,8 % jmenovitého výkonu
Cena	3 304 Kč

### **DAH Solar**

Anhui Daheng Energy Technology Co., LTD byla založena v roce 2009 s kapacitou 1000 MW ročně. Specializuje se na výrobu a vývoj fotovoltaických panelů, jejich instalací a údržbou.

**HCM60X9 Mono 9BB 345 W** – Panel nabízený v několika výkonových variantách (325–345 W). Uvedena je varianta s nejvyšším výkonem 345 W. [26]



Tabulka 8 Parametry panelu HCM60X9 Mono 9BB 345 W

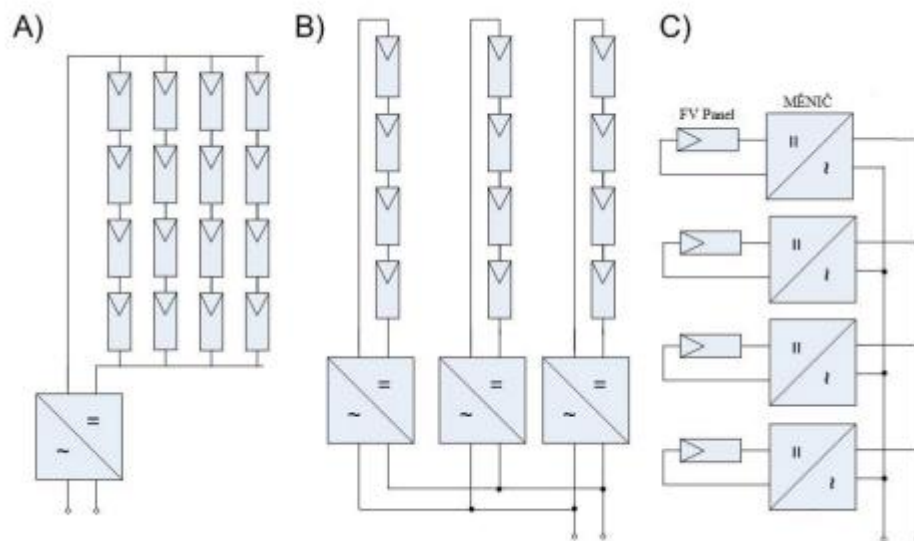
Výkon (Pmpp)	345 W
Jmenovité napětí (Vmpp)	68,6 V
Maximální proud při zátěži (Impp)	10,06 A
Napětí naprázdno (Voc)	41,2 V
Zkratový proud (Isc)	10,53 A
Účinnost ( $\eta$ )	20,42 %
Provozní teplota panelu	-40 °C až +85 °C
Typ článku	Monokrystalický
Počet článků v sérii	120 (6x20)
Rozměry	1686 x 1002 x 35 mm
Hmotnost	19 kg
Záruka na lineární pokles výkonu	25 let 83,2 % jmenovitého výkonu
Cena	4 500 – 5 000 Kč

### 1.7.2 Střídače

Z fotovoltaických panelů získáme na výstupu pouze stejnosměrný proud, který je nutné změnit na střídavý z důvodu připojení do elektrické rozvodné sítě. Zařízení zajišťující tuto přeměnu se nazývá střídač. Lze se také setkat s označením měnič nebo inverter. Kromě přeměny stejnosměrného proudu a napětí na střídavý zajišťují také celou řadu dalších funkcí jako je monitoring sítě a provozních údajů, či ochranné funkce. Hlavním parametrem střídače je, z hlediska využití energie, jeho účinnost. Při výběru vhodného střídače je však také důležité brát v potaz jeho spolehlivost a životnost. Samotná činnost střídačů je potom plně automatizovaná. Pro konkrétní aplikace se rozlišují střídače pro ostrovní nebo síťový (případně hybridní) provoz. Ostrovní mohou být například přizpůsobeny spotřebičům využívaným v objektu. [2]

Na síťové měniče jsou kladeny požadavky pro synchronizaci kmitočtu a napětí s aktuálními parametry sítě. Z hlediska zapojení v systému celé fotovoltaické elektrárny se střídače dělí na:

- modulové (zde je střídač připojen vždy pouze k jednomu panelu)
- stringové (střídač je připojen k několika panelům propojeným v řetězci sériově nebo paralelně)
- centrální (jsou připojené k většímu množství panelů – několik řetězců)



Obrázek 14 Příklady zapojení střídačů A) centrální, B) stringové, C) modulové [2]

Při výběru střídače se pohlíží na řadu parametrů, z nichž nejdůležitější jsou účinnost, rozsah napětí MPP (napětí, při kterém by měl střídač optimálně pracovat), maximální vstupní hodnoty a nominální výkon na obou stranách (DC i AC). Dále jsou dvě možnosti vnitřního zapojení střídače, a to buď s vysokofrekvenčním transformátorem nebo bez něj. Tento transformátor zajišťuje galvanické oddělení a tím i vyšší bezpečnost a ochranu před poškozením. Na druhou stranu však mírně snižuje celkovou účinnost střídače.

Jelikož je v našich podmínkách počasí dosti proměnlivé, jsou na provoz střídačů kladeny vysoké nároky. Pracují tak obvykle při částečném zatížení. Někteří výrobci navrhují do střídačů více výkonových prvků pro stálý chod a prodloužení životnosti. Různé výkonové stupně se pak zapínají podle měnících se klimatických podmínek. V následujících podkapitolách bude rozebráno několik typů střídačů od různých výrobců. [27]

### **GoodWe**

GoodWe je mladá čínská společnost založená v roce 2010. V roce 2019 průměrně prodala 30 000 kusů střídačů měsíčně, v ročním úhrnu pak 12 GW ve více než 100 zemích. Technologie GoodWe nabízí řešení pro střešní a komerční instalace a pro systémy ukládání energie.

**GW3648-EM** – Hybridní měnič umožňující také připojení na baterii. Jedná se o jednofázový měnič se dvěma samostatnými AC výstupy. Umožňuje napájení i v případě výpadku distribuční sítě. [28]

*Tabulka 9 Parametry měniče GW3648-EM*

Výstupní výkon	3680 W
AC výstup	Čistý sinus
Výstupní frekvence	50 Hz / 60 Hz $\pm$ 0,2 %
Výstupní napětí	230 VAC $\pm$ 2 %
Korekce účinníku	Nastavitelná 0,8 kapacitní – 0,8 induktivní
Maximální účinnost	97,6 %
Účinnost DC – AC režim	94,5 %
Euroúčinnost	97 %
Rozsah MPPT regulace	100 - 500 V
Maximální výkon FV pole	4600 W
Maximální vstupní proud MPPT regulátoru	2 x 11 A
Ochrana na výstupu	Proti zkratu, přetížení, přepětí
Cena	39 688 Kč

### **Fimer**

Převzetí divize solárních střídačů od společnosti ABB v roce 2020 bylo zásadní změnou a novým rozměrem. FIMER nabízí široké spektrum solárních střídačů od 1.2 kW do 5 MW, zaměstnává okolo 1 100 zaměstnanců ve 26 zemích světa, má 3 výrobní závody a 3 vývojová centra se 200 specialisty.

### **PVI-4.2-TL-OUTD – beztransformátorový jednofázový střídač [28]**

*Tabulka 10 Parametry střídače PVI-4.2-TL-OUTD*

Výstupní výkon	4200 W
AC výstup	Čistý sinus
Výstupní frekvence	50 Hz / 60 Hz $\pm$ 0,06 %
Výstupní napětí	230 VAC
Korekce účinníku	0,995 nastavitelný $\pm$ 0,9
Maximální účinnost	96,8 %
Euroúčinnost	96 %
Rozsah MPPT regulace	140 - 530 V
Maximální výkon FV pole	6000 W
Maximální vstupní proud MPPT regulátoru	2 x 16 A
Ochrana na výstupu	Podle místní normy
Cena	- Kč

## **Fronius**

V roce 1945 Günter Fronius založil v Rakousku firmu na výrobu nabíjecích přístrojů a svařovacích transformátorů. Dnes celosvětová firma s pobočkou v České republice. Od roku 1992 se věnuje Fronius i fotovoltaickým systémům, vyrábí inovativní měniče a vysoce kvalitní baterie. [28]

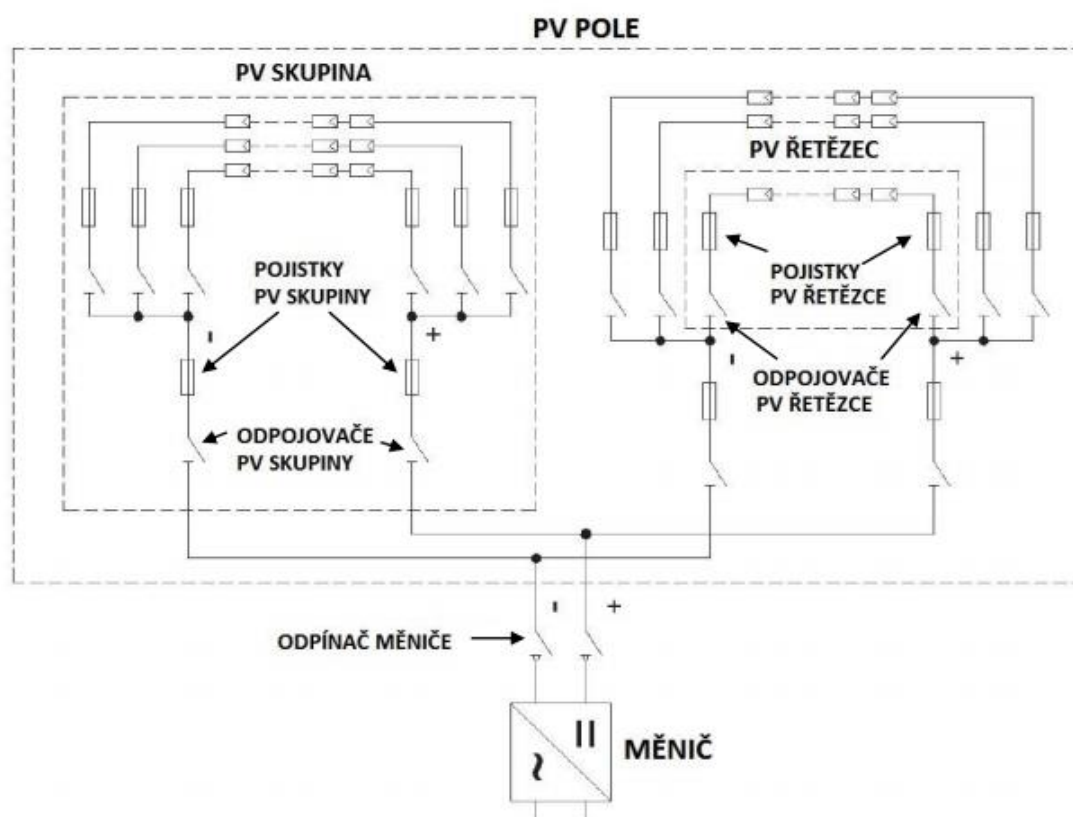
**Fronius SYMO 4.5-3-M WLAN** – beztransformátorový třífázový střídač s dvěma MPP- trackery a možností bezdrátového ovládní, je nabízen v mnoha výkonových variantách od 3 kW až do 20 kW (pro porovnání s předchozími střídači je uveden 4,5 kW) [29]

*Tabulka 11 Parametry střídače SYMO 4.5-3-M WLAN*

Výstupní výkon	4500 W
AC výstup	Čistý sinus
Výstupní frekvence	50 Hz / 60 Hz (45 – 65 Hz)
Výstupní napětí	400/230 V 3-NPE
Korekce účinníku	0,85 – 1 ind. / cap.
Maximální účinnost	98 %
Euroúčinnost	97,2 %
Rozsah MPPT regulace	150 - 800 V
Maximální výkon FV pole	-
Maximální vstupní proud MPPT regulátoru	2 x 16 A
Ochrana na výstupu	Podle místní normy
Cena	41 465 Kč

### **1.7.3 Jistící prvky**

Téma ochran fotovoltaické elektrárny zahrnuje jištění jak na DC tak i AC straně. Samotná ochrana začíná u samotných článků, dále ochrana řetězců až po celkovou ochranu fotovoltaického pole před měničem, jak znázorňuje *Obrázek 15*.

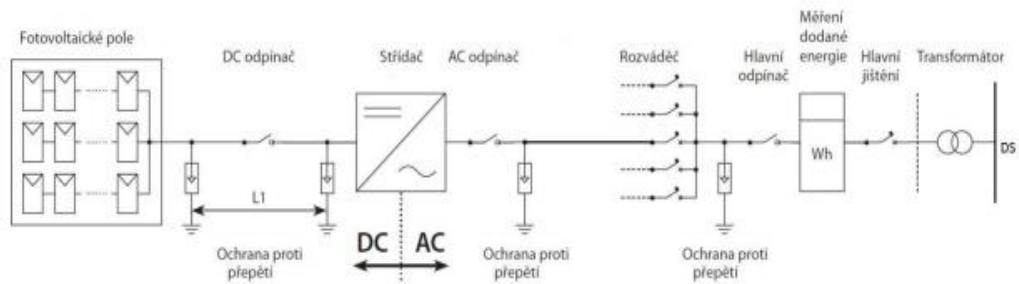


Obrázek 15 Princip jištění fotovoltaického pole [30]

Hlavním důvodem ochrany fotovoltaických článků jsou vlivy počasí jako například částečné zastínění panelu vlivem oblačnosti či sněhu. Dojde-li k takovému zastínění stávají se články pro řetězec přítěží. Vznikají zde vyšší ztráty a s tím spojené oteplení, které může články poškodit. K ochraně tohoto typu se používají diody, které článek přemostí (tzv. bypass zapojení).

Dále je panely nutné chránit proti zpětnému proudu, který vzniká při vnitřním zkratu nebo při zkratu v kabelech vlivem poškození izolace. Ochrana se realizuje zapojením diod v závěrném směru proti zpětnému proudu. Další možností je ochrana pojistkami nebo jističi, ty jsou však dražší, a proto méně používané.

Další nezbytnou ochranou je jištění vedení proti přetížení, a to jak vedení mezi panely v řetězci, tak i vedení propojující řetězce a následně koncové vedení pole. Ochrana je možné zajistit buďto jisticím přístrojem před elektroměrem v místě hlavního jištění nebo AC odpínačem na příslušné straně měniče.



Obrázek 16 Schéma systému FV elektrárny se znázorněním ochran [30]

V neposlední řadě musí být zajištěna ochrana automatickým odpojením od zdroje pro případ nebezpečného dotyku. [30]

#### 1.7.4 Software pro návrh

Pro navrhování solárních systémů včetně fotovoltaických elektráren vznikla řada softwarových systémů, díky kterým jsme při návrhu schopni zahrnout více faktorů. Tyto programy nabízí mnoho možností výpočtů od ekonomické návratnosti a pořizovacích nákladů až po elektrotechnické výpočty ochran a dimenzování jednotlivých prvků elektrárny. Dále obsahují rozsáhlou databázi komponentů. Dokáže také navrhnout vhodné rozložení panelů a jejich rozvrhnutí do větví pro maximalizaci výkonu. Nabízí také možnosti provádět simulace zastínění v průběhu dne a navrhnout vhodný upevňovací systém.

Pro základní výpočty slouží internetové konfiguratory, které vám vyhodnotí výkon elektrárny podle předem určené plochy, na kterou ji lze umístit. Dále vyhodnotí finanční náklady a návratnost pro zadanou kupní cenu elektrické energie. Tyto konfiguratory nabízí výrobci jednotlivých komponent, například Fronius. Mezi další konfiguratory patří například PVGIS (Fotovoltaický geografický informační systém), který umožňuje na základě určené zeměpisné polohy, orientace panelů a instalovaného výkonu spočítat předpovídané množství generované energie v průběhu roku. [31]

## 2. PRAKTICKÁ ČÁST

### 2.1 Popis objektu

Provoz Špitálka akciové společnosti Teplárny Brno je jedním z pěti zdrojů tepelné energie přispívajících k vytápění Brna. Nedílnou součástí těchto výroben je také tepelná distribuční síť, která zajišťuje zásobování asi 4000 odběrných míst.

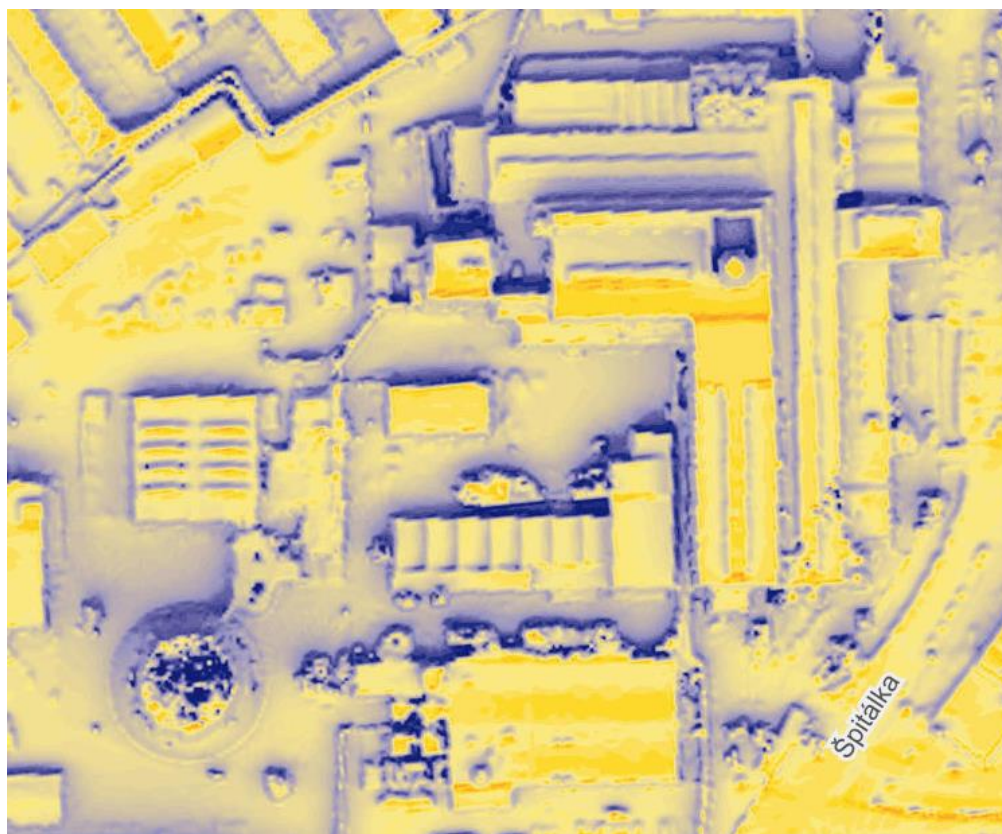
Na provozu Špitálka se tepelná energie vyrábí kombinovaným způsobem při současné výrobě elektrické energie na protitlakých turbínách. Tento způsob kogenerované výroby zde byl zahájen již v roce 1930 jako první v Československu. Vyrobené teplo je dodáváno v podobě páry a horké vody, elektrická energie je dodávána do rozvodné sítě distributora. Jako palivo se používá nyní pouze zemní plyn. Provoz byl zahájen v roce 1930.

- Instalovaný tepelný výkon: 411 MW
- Instalovaný elektrický výkon: 80,6 MW [32]



Obrázek 17 Provoz Špitálka [32]

Špitálka se nachází na jižní Moravě, což je z hlediska České republiky ideální místo pro provoz fotovoltaické elektrárny. Nachází se sice v hustě zastavěné části centra Brna, avšak v okolí nejsou žádné vyšší budovy, které by mohly způsobovat zastínování panelů na střeších. *Obrázek 18* a *Tabulka 12* ukazují, že průměrné roční ozáření jižních částí střešů je ideální pro provoz elektrárny.



Obrázek 18 Mapa slunečního ozáření – Špitálka [33]

Tabulka 12 Průměrné měsíční doby ozáření Brno [34]

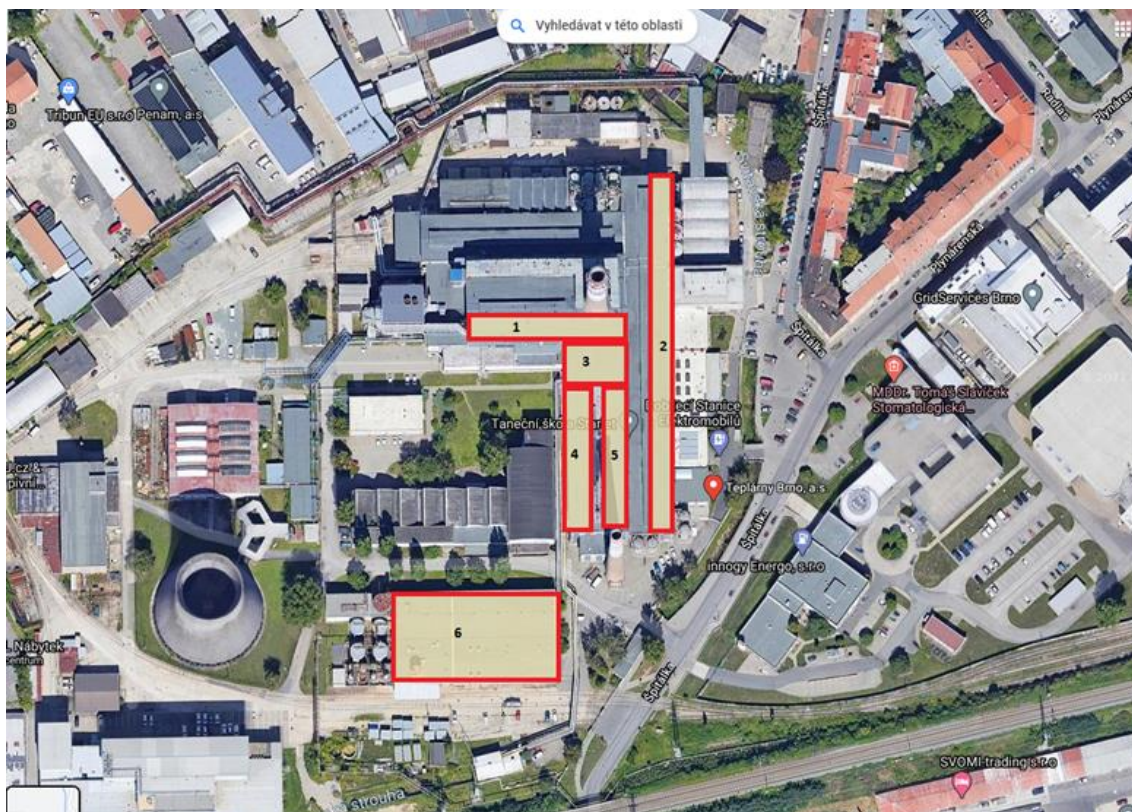
<b>Průměrné měsíční doby osvitů Brno</b>	
<b>Měsíc</b>	<b>Počet hodin slunečního svitu</b>
Leden	41
Únor	67
Březen	127
Duben	159
Květen	224
Červen	218
Červenec	212
Srpen	219
Září	155
Říjen	117
Listopad	44
Prosinec	37
<b>celkem</b>	<b>1620</b>



Panely by se měly umísťovat na několik vybraných střech z celého areálu. Celková změřená plocha těchto střech činí 6463,5 m<sup>2</sup>. Pokud však započítáme překážky na střechách, jako například větrací průduchy, dostaneme se na plochu přibližně 6400 m<sup>2</sup>. Následující *Obrázek 19* znázorňuje části střech, na které by panely měly být umísťovány. Každá z vyznačených střech je situována v jiné výšce, z toho důvodu bylo zvoleno právě toto rozmístění, aby se střechy vzájemně nezastiňovaly a svítilo na ně slunce v průběhu celého dne.

*Tabulka 13 Plocha pro umístění panelů*

<b>Celková plocha pro umístění panelů</b>			
	délka [m]	šířka [m]	plocha [m <sup>2</sup> ]
střecha 1	64	13	832
střecha 2	137,5	13	1787,5
střecha 3	23	20	460
střecha 4	58	9	522
střecha 5	58	9	522
střecha 6	65	36	2340
<b>celkem</b>			<b>6463,5</b>



*Obrázek 19 Vyznačené části střech pro panely [35]*

## 2.2 Komponenty

### 2.2.1 Panely

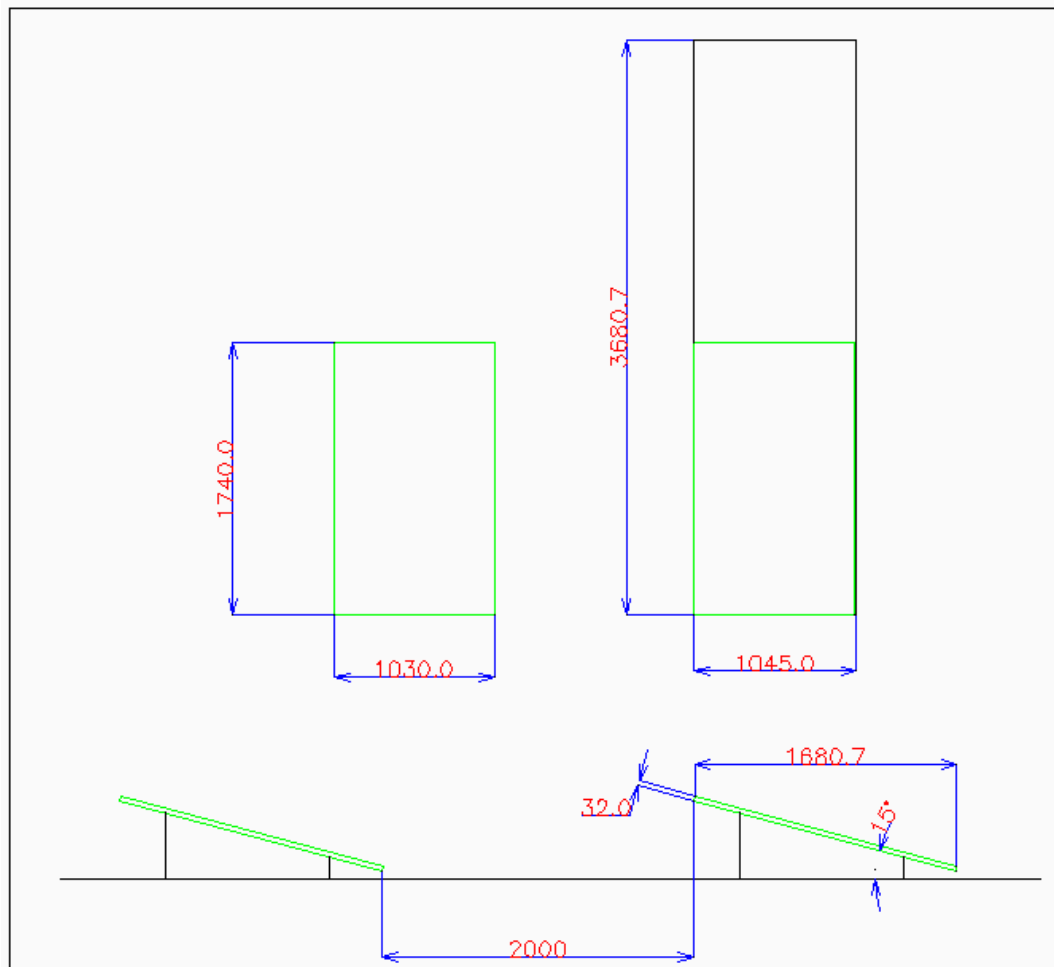
Pro navrhovanou elektrárnu jsem zvolil panely Hanwha Q cells Q.PEAK DUO – G6 350Wp. Panely nabízí vysokou účinnost za příznivou cenu a výrobce Hanwha Q cells je jedním z největších ve světě. Díky tomu bude zaručena dostupnost náhradních dílů a kompatibilita s komponenty jiných značek. Dokážou udržet stálý výkon při rozdílných teplotách a horších světelných podmínkách. Dalším důležitým aspektem je vysoká životnost díky technologiím sledujícím kvalitu a ochranu výroby. V neposlední řadě dokážou také odolat vysokému zatížení sněhem, až 5400 Pa, což odpovídá 550 kg sněhu na m<sup>2</sup>.

Základní parametry panelu ukazuje *Tabulka 14*.

*Tabulka 14 Parametry panelu Q.PEAK DUO 350 [36]*

Výkon (P <sub>mpp</sub> )	350 W
Jmenovité napětí (U <sub>mpp</sub> )	34,24 V
Maximální proud při zátěži (I <sub>mpp</sub> )	10,22 A
Napětí naprázdno (U <sub>oc</sub> )	40,70 V
Zkratový proud (I <sub>sc</sub> )	10,74 A
Účinnost (η)	≥19,5 %
Provozní teplota panelu	-40 °C až +85 °C
Typ článku	Monokrystalický
Počet článků v sérii	120 (6x20)
Rozměry	1740 x 1030 x 32 mm
Hmotnost	19,9 kg
Záruka na lineární pokles výkonu	10 let 93,1 % a 25 let 85 % jmenovitého výkonu
Cena	4 290 Kč

Plocha jednoho panelu činí 1,7922 m<sup>2</sup>, což by při vyplnění celé plochy střechy znamenalo 3570 panelů. Ideální by však bylo umístit panely na konstrukci pod úhlem 35°, to by ale znamenalo velké mezery mezi jednotlivými řadami panelů a značné snížení celkového možného instalovaného výkonu. Pro zvýšení celkového výkonu bude nutné zmenšit sklon panelů. Bude to sice znamenat, že budou pracovat s nižší intenzitou záření v rovině panelu, ale celková roční produkce energie bude vyšší. Simulovány byly celkem tři varianty sklonu panelů a jejich počtu (15°, 20° a 30°). Při požití větších úhlů sklonu bylo vždy dosaženo nižších hodnot vyprodukované energie za rok, proto byl zvolen úhel 15°, který zahrnuje nejvíce panelů. Budeme-li uvažovat mezery mezi panely v řadě 3 cm a mezi jednotlivými řadami alespoň 2 m, aby nedocházelo k vzájemnému zastínění ani v zimních měsících, vyjde celková plocha, kterou potřebuje jeden panel na 3,8463 m<sup>2</sup>.



Obrázek 20 Přehled rozměrů panelů

Při takovéto ploše vychází počet panelů na 1660. Panely by tedy celkově vyšly na 7 121 400 Kč včetně DPH. E-shop SPV solar však nabízí možnost nákupu palet po 32 ks za 130 400 Kč, což vychází na 53 celých palet s rezervou pro výměnu. Při nákupu palet vyjde celková cena na 6 911 200 Kč včetně DPH. Použití tohoto množství panelů dává dohromady celkový maximální výkon elektrárny 581 kW. [21]

Tabulka 15 Údaje k panelům

<b>Tabulka s výpočty panelů</b>	
Celková plocha střech - $S_s$	6400 m <sup>2</sup>
Plocha jednoho panelu - $S_p$	1,7922 m <sup>2</sup>
Plocha, kterou panel zabere na střeše - $S_{ps}$	3,8463 m <sup>2</sup>
<b>Počet panelů - n</b>	<b>1660</b>
<b>Celkový výkon elektrárny - <math>P_{cel}</math></b>	<b>581 kW</b>
Cena palety 32 ks	130 400 Kč
Cena panelu	4 290 Kč
<b>Celková cena nákupu panelů</b>	<b>6 911 200 Kč</b>

### 2.2.2 Střídače

Pro aplikaci v provozu Špitálka budou použity střídače v paralelním spojení z důvodu rozložení panelů na různých střechách od sebe vzdálených. Dále bude zajištěno řízení těchto střídačů tak, aby došlo k odpojení stringů při zastínění, které by snižovalo dodávaný výkon.

Jako střídač byl zvolen třífázový Fronius Symo 20.0-3-M o výkonu 20 kW. Firma Fronius má na trhu s komponenty pro fotovoltaické elektrárny dlouholetou tradici, což svědčí o kvalitě jejich produktů. V nabídce mají velké množství střídačů různých výkonů a nabízí kompatibilitu s velkým množstvím panelů. Pro aplikaci, kde je potřeba třífázový vysoce výkonný střídač je tak Fronius Symo ideální. Nabízí také požadovanou možnost řízení výkonu dodávaného do sítě.

Tabulka 16 Parametry střídače Fronius Symo 20.0-3-M [37]

Nominální výkon	20 000 W
Maximální vstupní napětí	1000 V
Minimální vstupní napětí	200 V
Rozsah regulace MPP	420 – 800 V
Maximální vstupní proud	33 A
Počet vstupů	3+3
Maximální výstupní AC proud	32 A
Minimální výstupní AC napětí (fázové)	150 V
Maximální výstupní AC napětí (fázové)	280 V
Frekvence	50 Hz / 60 Hz
Rozsah frekvence	45 – 65 Hz
Korekce účinníku	0 -1 ind. / cap.
Účinnost ( $\eta$ )	97,9 %
Provozní teplota panelu	-25 °C až +60 °C
Krytí	IP66
Připojení vstupu a výstupu	Kabel 2,5 – 16 mm <sup>2</sup>
Rozměry	725 x 510 x 225 mm
Hmotnost	43,4 kg
Cena	85 320 Kč

Uvažujeme, že střídače budou pracovat na nominálním výkonu 20 kW, v tom případě bude pro provoz elektrárny nutné použít 30 střídačů. Podle konfigurátoru výrobce Fronius (Fronius solar configurator 4.0) bude pro použití zvoleného typu panelů a střídačů při zvoleném parametru inverter ratio okolo 90 % (konkrétně 94 %) nejefektivnější spojit panely do stringů podle následující tabulky. To znamená na prvním DC vstupu 2 stringy po 19 panelech a na druhém DC vstupu 1 string se 17 panely. [38]

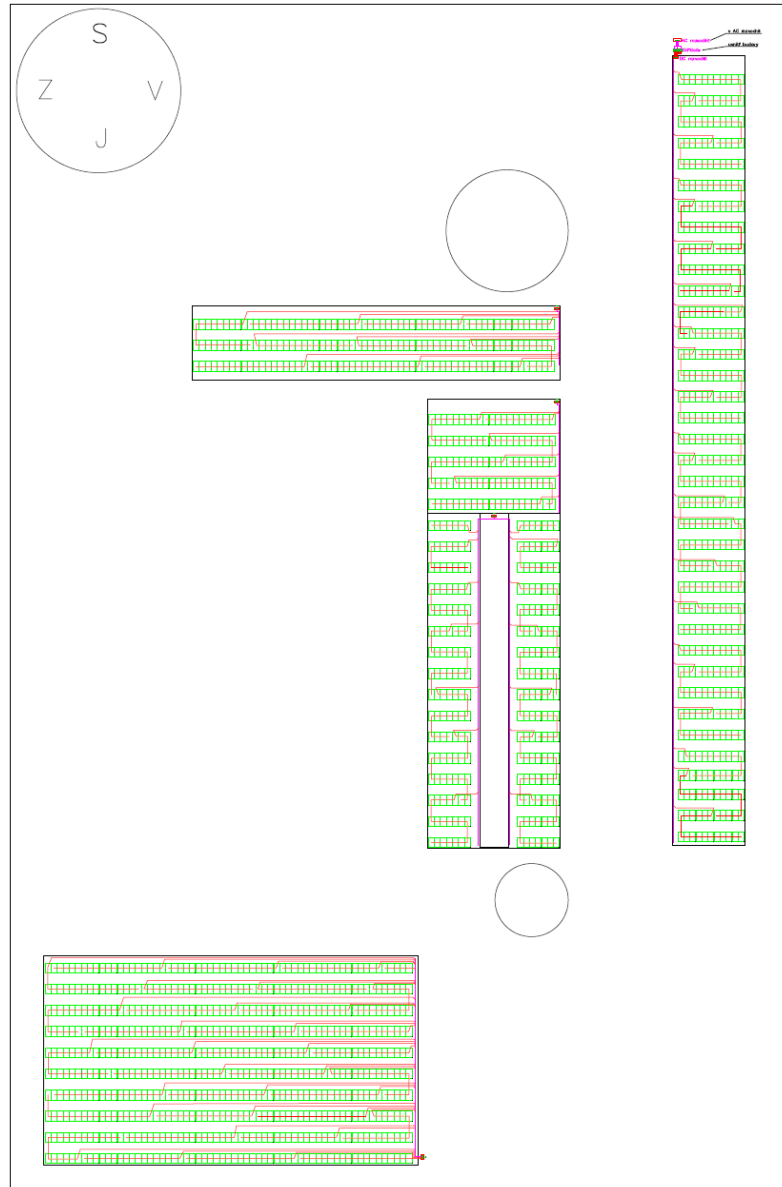
Tabulka 17 Výpočet parametrů střídače z konfigurátoru [38]

<b>Napojení stringů na střídač</b>		
Inverter ratio	94 %	
Pmpp při 25 °C	19,25 kWp	
Current Factor	1	
<b>MPPT detaily</b>		
	PV1	PV2
String (str. x mod)	2 x 19	1 x 17
Isc při 25 °C	21,58 A	10,79 A
Umpo při 70 °C	553,30 V	459,06 V
Uoc při -10 °C	847,00 V	757,84 V
Umpo při 25 °C	647,33 V	579,19 V
Pmpp při 25 °C	13,30 kWp	5,95 kWp
<b>Cena</b>		
Cena střídače	85 320 Kč	
Počet střídačů	30	
Celková cena střídačů	2 559 600 Kč	

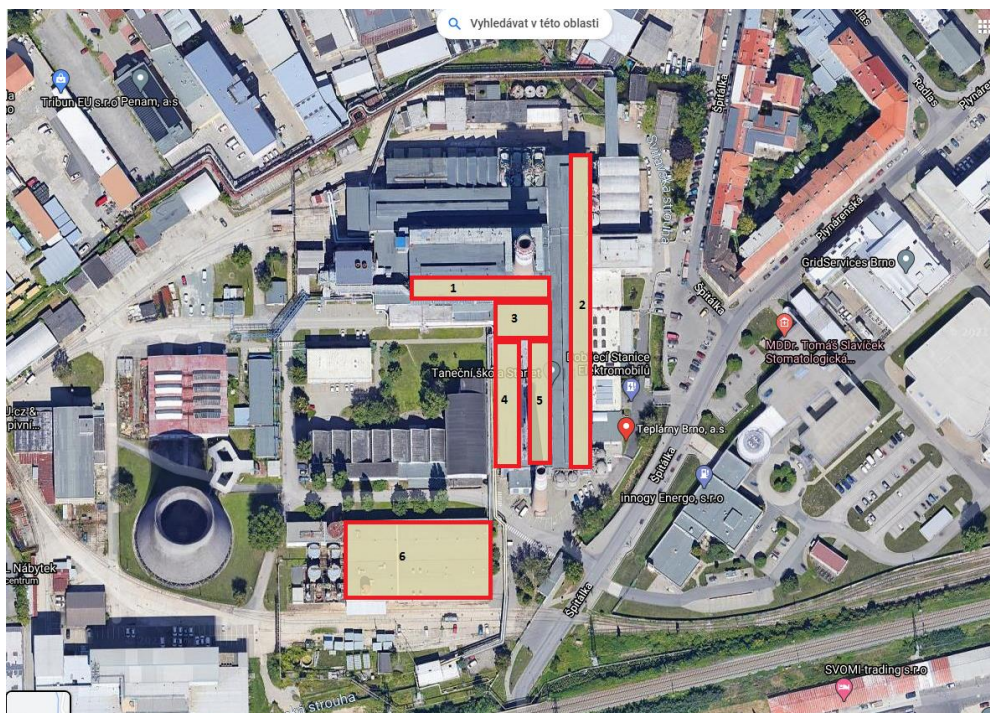
V tabulce jsou také předpokládané provozní hodnoty, které splňují požadavky pro použití zvoleného typu střídačů.

## 2.3 Zapojení a rozmístění

V následujícím schématu (*Obrázek 21*) a leteckém snímku (*Obrázek 22*) je znázorněno, kde na střechách objektu budou panely umístěny. Jedná se o šest od sebe oddělených ploch, které jsou různě vysoké. Oba obrázky jsou orientovány na sever.

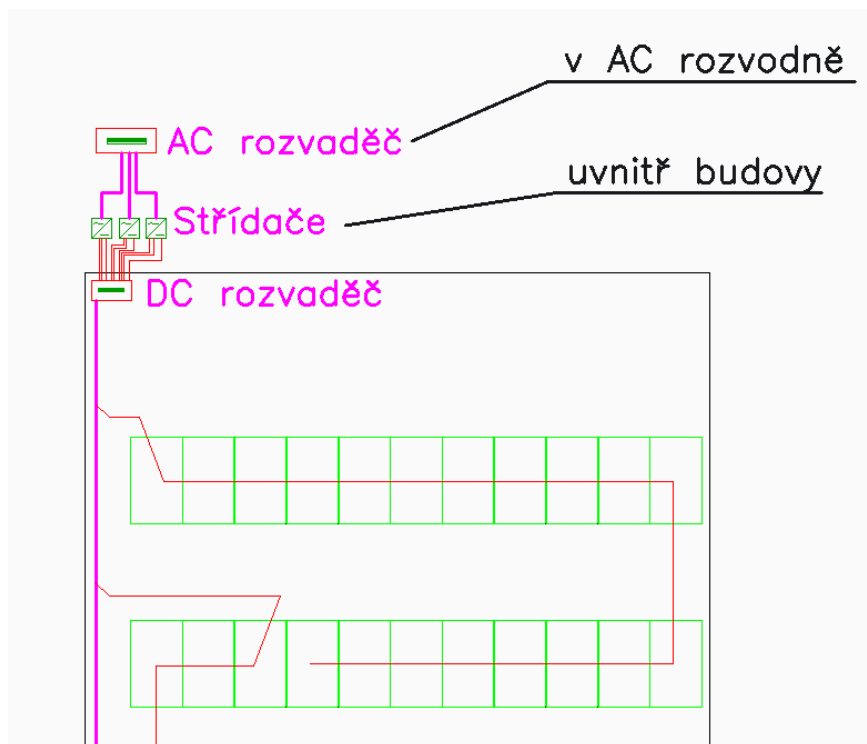


*Obrázek 21* Výkres rozmístění panelů na budovách



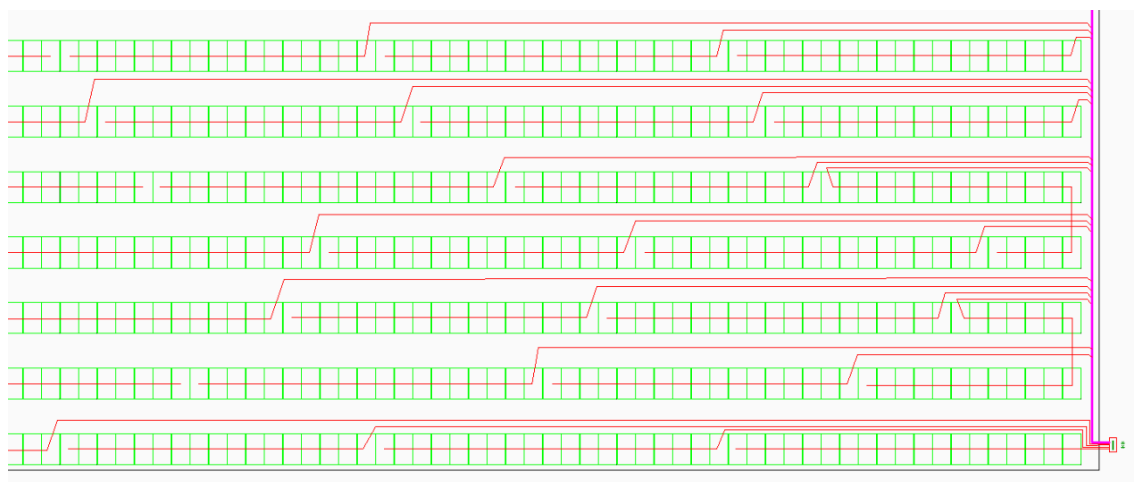
Obrázek 22 Letecký snímek s vyznačením využitých střech [35]

Panely budou uloženy v řadách na kovových konstrukcích, které zajistí správný úhel sklonu panelů vůči rovině (v tomto případě  $15^\circ$ ). V řadě budou mezi dvěma sousedními panely vždy mezery 3 cm a na jednom kraji alespoň metrová mezera z důvodu přístupu k panelům. Mezi jednotlivými řadami budou 2m mezery, aby nedocházelo k zastiňování a zároveň byl zajištěn volný přístup k jakémukoli panelu z důvodu možné potřeby servisu. Kabelová vedení budou uchycena na kovových konstrukcích držících panely v úchytech k tomu určených. Tyto kabely ( $6\text{mm}^2$ ) povedou přes DC rozvaděč obsahující DC jističe a přepěťovou ochranu do třífázového střídače. Na DC vstup střídače PV1 budou přivedeny 2 stringy po 19 panelech a na vstup PV2 jeden string čítající 17 panelů. Tyto stringy budou připojeny paralelně, aby bylo umožněno jejich nezávislé vypínání, kvůli snižování celkového výkonu v důsledku zastiňování. Toto řízení budou zajišťovat střídače na základě údajů o poklesu výkonu pod zvolenou mez na zastíněném stringu. Ze střídačů povedou AC výstupy do AC rozvaděče, kde bude přes přepěťovou ochranu a stykač připojen do světelné rozvodné sítě továrny. V AC rozvaděči bude kabel jištěn vhodným jističem a bude zde také elektroměr pro fakturační měření.



Obrázek 23 Principiální schéma zapojení rozvodů

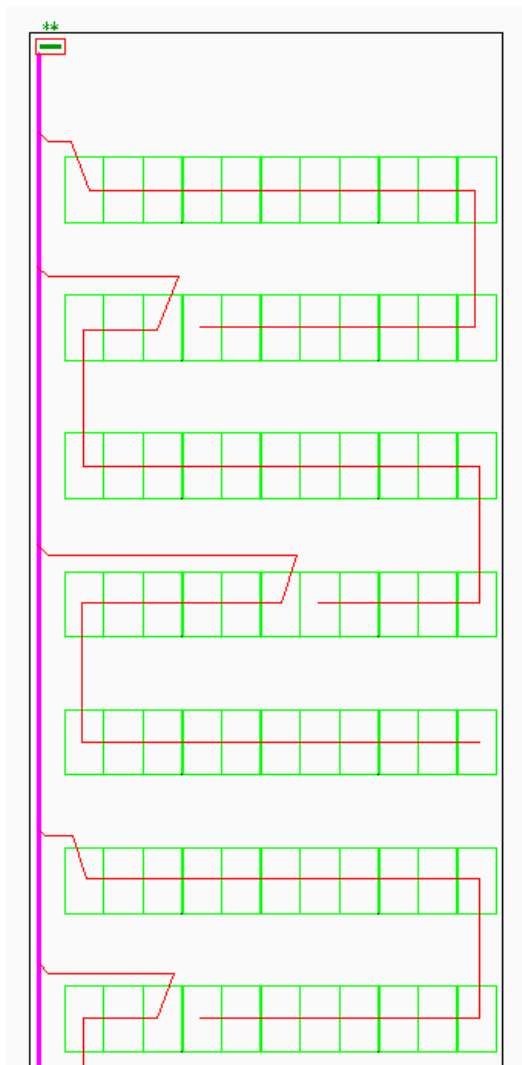
Na Obrázek 23 je znázorněno spojování panelů do stringů a jejich přivedení na DC rozvaděč, střídač a AC rozvaděč. Jedná se o principiální schéma, ve skutečnosti kabely povedou do společného DC rozvaděče na střeše. Ze střechy pak společnou klesačkou povedou DC kabely do budovy, kde budou umístěny všechny střídače pro příslušnou střechu. Z těchto střídačů budou AC kabely přivedeny do společné rozvodny pro celou fotovoltaiku. V této rozvodně budou vyvedeny do příslušných AC rozvaděčů a připojeny do rozvodné sítě objektu přes příslušné jistící prvky a elektroměry.



Obrázek 24 Detail zapojení panelů na budově 6

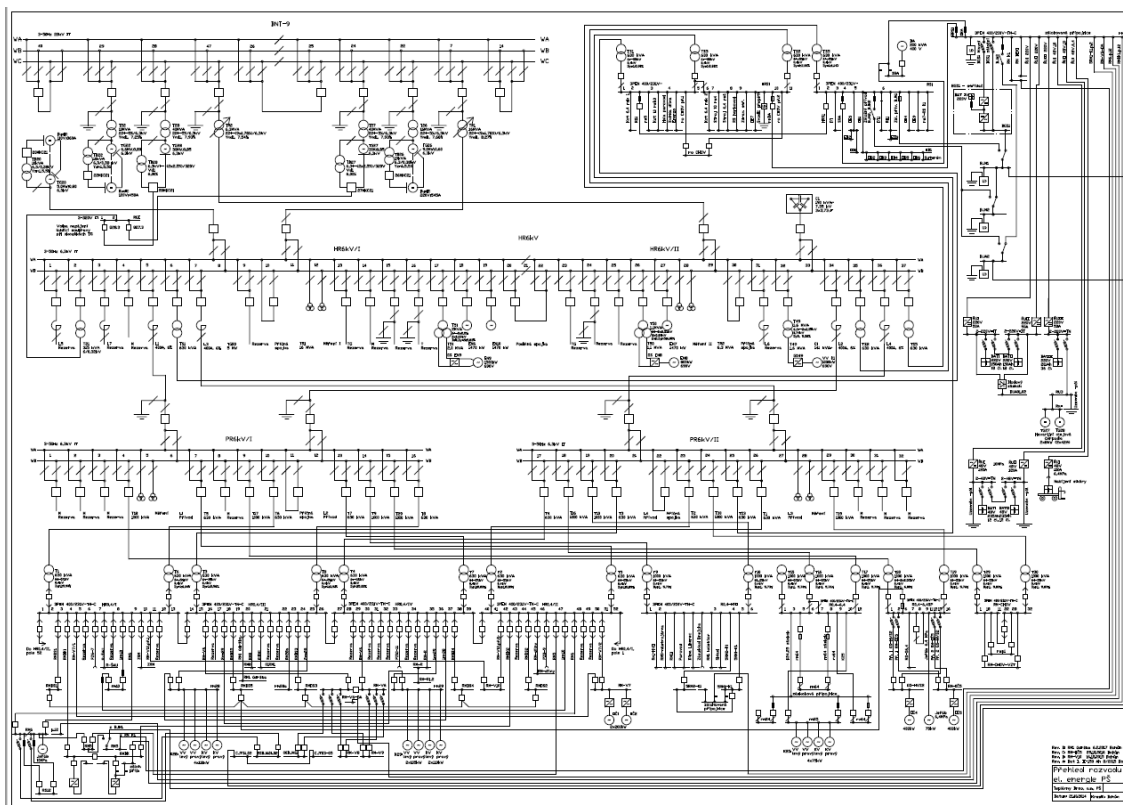


Obrázek 24 a Obrázek 25 ukazují příklad spojení panelů na budovách označených čísly 6 a 2. Kablely vedou po okraji střechy společnou kabelovou trasou a na konci jsou vyvedeny do příslušného DC rozvaděče.

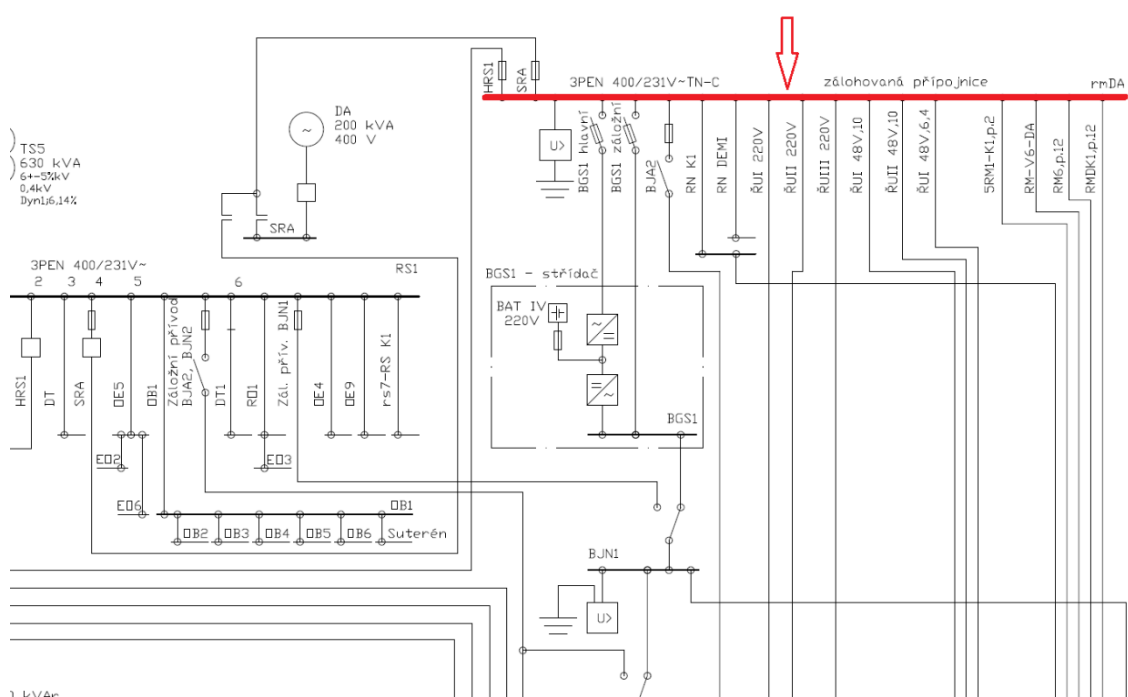


Obrázek 25 Detail zapojení panelů na budově 2

Následující obrázky znázorňují projektovou dokumentaci elektroinstalace v provozu Špitálka. Obrázek 27 ukazuje detail přípojnice pro světelné obvody, kde bude fotovoltaika napojena na rozvodnou síť provozu. [39]



Obrázek 26 Projektová dokumentace elektrických rozvodů



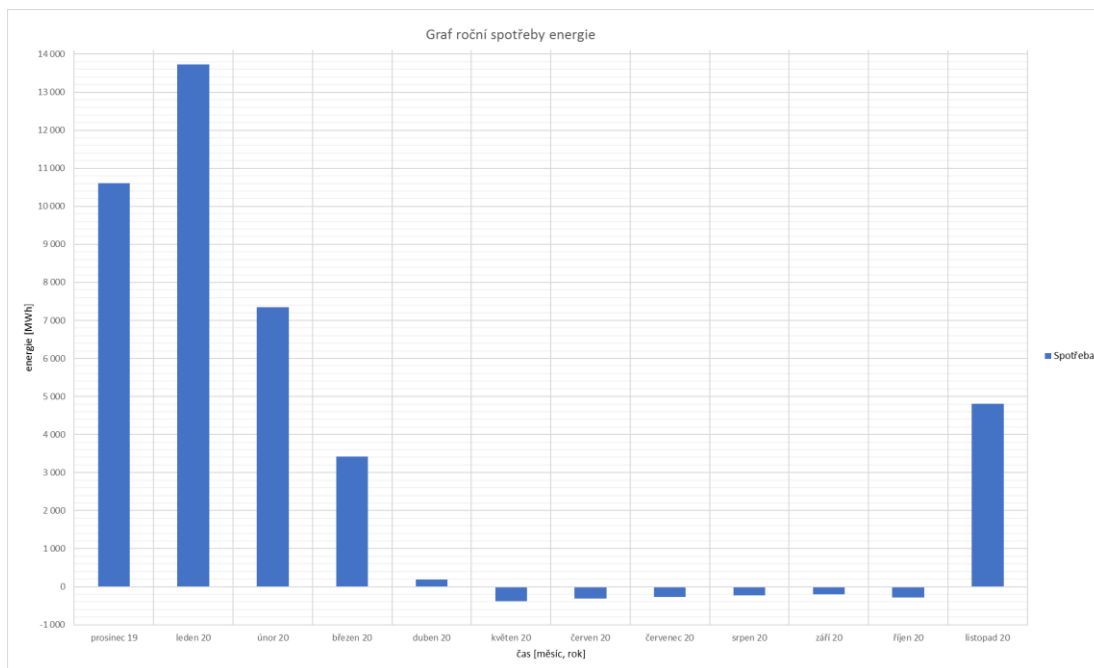
Obrázek 27 Detail projektové dokumentace v oblasti napojení fotovoltaiky

## 2.4 Pokrytí spotřeby

Provoz Špitálka pracuje nepřetržitě a po většinu roku odebírá značné množství elektrické energie ze sítě. Samotná fotovoltaická elektrárna dokáže pokrýt jen zlomek spotřeby celého objektu. Naopak v letních měsících, kdy není taková poptávka po teplé vodě, dodává provoz elektrickou energii do sítě. V *Tabulka 18* a grafu (*Obrázek 28*) jsou vidět velké rozdíly mezi odběry energie v zimních a prodeji v letních měsících, což nekoresponduje s výrobou fotovoltaické elektrárny, která bude naopak mít v letních měsících největší produkci a v zimě naopak menší. [40]

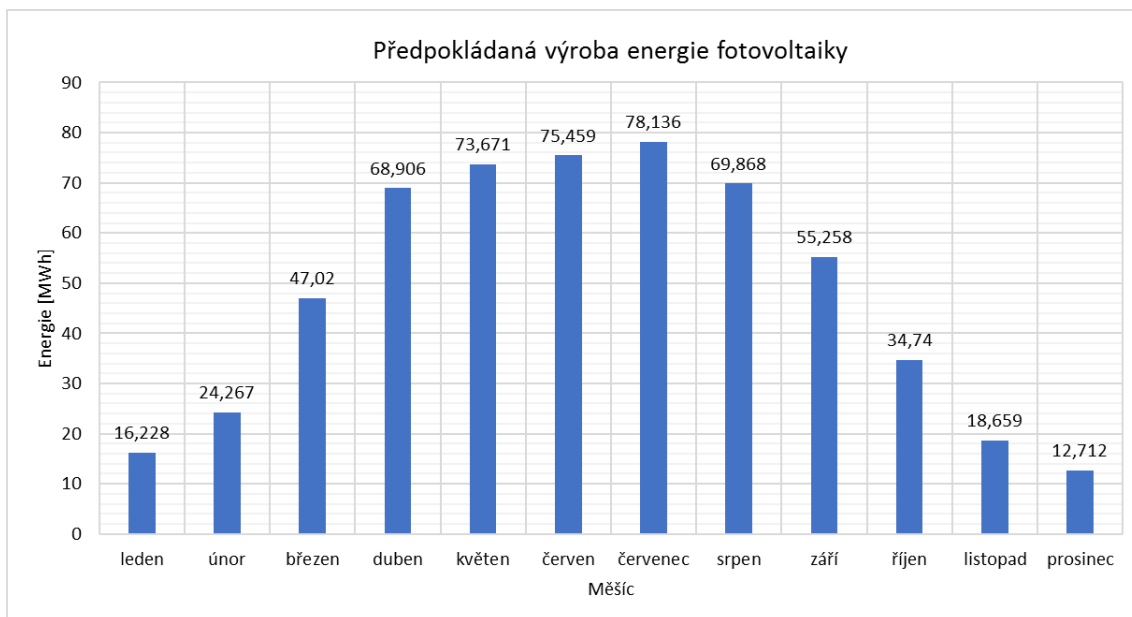
*Tabulka 18 Tabulka roční spotřeby energie – Špitálka [40]*

<b>Tabulka roční spotřeby energie</b>	
<b>Měsíc/rok</b>	<b>Celková spotřeba činná [MWh]</b>
prosinec 19	10 608,14
leden 20	13 734,61
únor 20	7 343,33
březen 20	3 414,35
duben 20	185,73
květen 20	-381,94
červen 20	-312,02
červenec 20	-263,84
srpen 20	-229,88
září 20	-203,57
říjen 20	-278,62
listopad 20	4 811,43
<b>celkem</b>	<b>38 427,72</b>



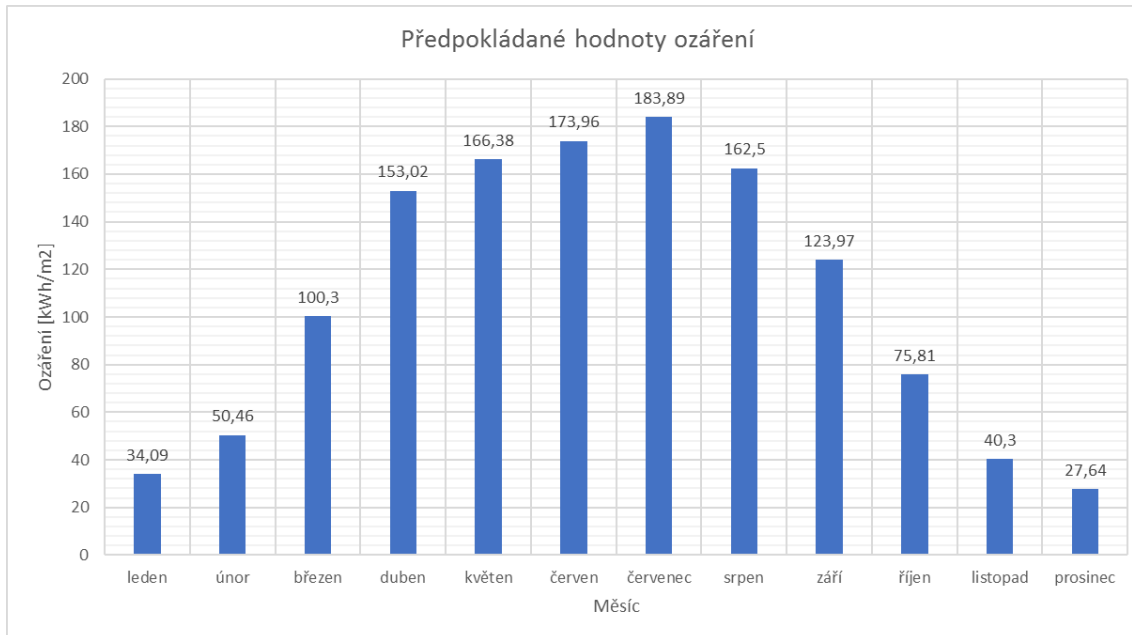
Obrázek 28 Graf roční spotřeby energie [40]

Pro simulaci vyrobené energie v průběhu roku byl použit Fotovoltaický geografický informační systém PVGIS. Pro správné vyhodnocení výsledků byla v systému použita přesná zeměpisná poloha provozu Špitálka. Dalšími vstupními údaji byli celkový instalovaný výkon elektrárny, fixní úhel montáže panelů (v našem případě 15°) a orientace směrem na jih. Systém PVGIS při vyhodnocování zahrnuje také vlivy jako je úhel dopadu slunečních paprsků, spektrální efekty, teplotu nebo nízkou hodnotu ozáření. V důsledku těchto vlivů a systémových ztrát na součástkách elektrárny systém vyhodnotil celkové ztráty na 23,43 %. V následujícím grafu (Obrázek 29) jsou předpovídané hodnoty produkované energie za jednotlivé měsíce v roce. [31]



Obrázek 29 Předpokládaná výroba energie fotovoltaiky [31]

Další graf (Obrázek 30) zahrnuje hodnoty ozáření v  $\text{kWh/m}^2$ , ze kterých vychází graf produkce energie. Kompletní dokument vytvořený systémem PVGIS je součástí přílohy k práci.

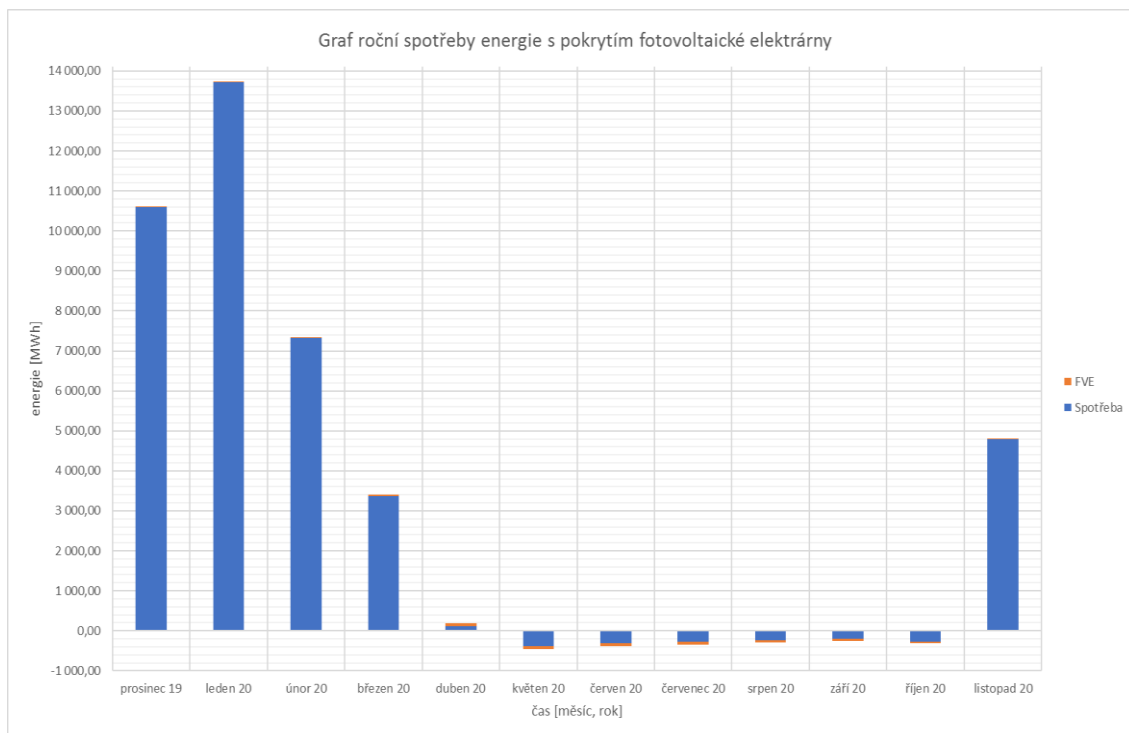


Obrázek 30 Předpokládané hodnoty ozáření [31]

Tabulka 19 Předpovídaná výroba elektrické energie

<b>Tabulka roční spotřeby energie</b>			
<b>Měsíc/rok</b>	<b>Celková spotřeba činná [MWh]</b>	<b>Vyrobená energie [MWh]</b>	<b>Spotřeba s pokrytím FVE [MWh]</b>
prosinec 19	10 608,14	12,71	10595,43
leden 20	13 734,61	16,23	13718,38
únor 20	7 343,33	24,27	7319,06
březen 20	3 414,35	47,02	3367,33
duben 20	185,73	68,91	116,82
květen 20	-381,94	73,67	-455,61
červen 20	-312,02	75,46	-387,48
červenec 20	-263,84	78,14	-341,98
srpen 20	-229,88	69,87	-299,75
září 20	-203,57	55,26	-258,83
říjen 20	-278,62	34,74	-313,36
listopad 20	4 811,43	18,65	4792,78
<b>celkem</b>	<b>38 427,72</b>	<b>574,93</b>	<b>37852,79</b>

Předpovídané hodnoty produkce elektrické energie z elektrárny jsou v *Tabulka 19* srovnány s hodnotami celkové spotřeby elektrické energie objektu. Rozdílem těchto dvou hodnot získáme předpovídanou spotřebu objektu s pokrytím fotovoltaiky, což znázorňuje graf na *Obrázek 30*. V měsících listopad – duben bude fotovoltaika pokrývat část spotřeby objektu, zatímco v ostatních měsících bude energie prodávána do sítě distributora. Z toho vyplývá, že převážná část energie z fotovoltaiky (cca 70 %) bude prodávána do distribuční sítě a zbytek využíván samotným objektem. Celková předpovídaná roční produkce energie z fotovoltaiky je 574,93 MWh, což celému objektu pokryje přibližně 1,5 % z celkové roční spotřeby elektrické energie. Tyto hodnoty jsou počítány s dostupnými údaji o spotřebě za minulý rok a mohou se tedy lišit v závislosti na kolísání spotřeby v průběhu příštích let a také kolísáním hodnot slunečního osvětlení.



*Obrázek 31 Graf roční spotřeby energie s FVE*

## 2.5 Ekonomické zhodnocení

Tato kapitola shrnuje ekonomickou část projektu. Na začátek je uvedena *Tabulka 20* s orientačními náklady na instalaci elektrárny. Cena zvolených panelů, střídačů, kovových konstrukcí držících panely a kabelové trasy a kabelů je brána z katalogů prodejců, ostatní částky se však mohou lišit a jsou odhadnuta. Stejně tak délka kabelů je odhadována. V kategorii ostatní jsou zahrnuty například elektroměry, rozvaděčové skříně nebo svorky pro připojení kabelů.

*Tabulka 20 Přehled ceny za elektrárnu [37] [21] [41] [42]*

Orientační cena elektrárny			
	počet	cena za kus (vč. DPH)	celková cena
<b>Panely</b>	1696 ks	130 400 Kč/paleta	6 911 200 Kč
<b>Střídače</b>	30 ks	85 320 Kč	2 559 600 Kč
<b>Konstrukce</b>	553 ks	6 193 Kč pro 3 panely	3 424 729 Kč
<b>Jistící prvky</b>	100 ks		100 000 Kč
<b>Kabely DC</b>	2000 m	2 690 Kč/100 m	5 380 000 Kč
<b>Kabely AC</b>	1000 m	170 Kč/m	1 360 000 Kč
<b>Práce</b>			2 000 000 Kč
<b>Ostatní</b>			100 000 Kč
<b>Celkové náklady</b>			<b>21 835 529 Kč</b>

V *Tabulka 21* jsou propočteny náklady za elektrickou energii v minulém roce a zároveň předpovídána hodnota pokrytí spotřeby fotovoltaikou. Hodnoty spotřeby a výroby elektrické energie jsou uvedeny v *Tabulka 19* z kapitoly 2.4. Následující tabulka uvádí částky v korunách za energii v jednom roce.

*Tabulka 21 Ekonomické hodnocení projektu*

Ekonomické hodnocení za 1 rok		
	Celková spotřeba činná	Cena
Celkem nákup [MWh]	40097,59	74 182 145 Kč
Celkem prodej [MWh]	1669,87	3 089 326 Kč
Celkové saldo [MWh]	38427,72	<b>71 092 819 Kč</b>
	Vyrobená energie z FVE	Cena
Celkem spotřeba [MWh]	160,79	297 468 Kč
Celkem prodej [MWh]	387,14	716 224 Kč
Celkové saldo [MWh]	547,93	<b>1 013 692 Kč</b>
	Spotřeba s pokrytím FVE	Cena
Celkem nákup [MWh]	39909,80	73 834 726 Kč
Celkem prodej [MWh]	2057,01	3 805 551 Kč
Celkové saldo [MWh]	37852,79	<b>70 029 176 Kč</b>



V tabulce jsou porovnané roční ceny za elektrickou energii bez a s pokrytím fotovoltaické elektrárny. Při výpočtech bylo nutné uvažovat, že teplárny prodávají do sítě také elektrickou energii získanou z kogenerované výroby tepla a elektřiny.

Díky instalaci fotovoltaiky by tak celkovou hodnotu prodané energie do sítě navýšili o 387,14 MWh za 716 224 Kč. V zimních měsících by pak fotovoltaika vyrobila 160,79 MWh a ušetřila tak za nákup elektřiny 297 468 Kč. Dohromady by tedy za jeden rok fotovoltaika ušetřila provozu 1 013 692 Kč za elektrickou energii. To by při pořizovací ceně přibližně 22 mil Kč znamenalo prostou dobu návratnosti 21,7 let.

Vzorec pro výpočet prosté doby návratnosti:

$$T_S = \frac{IN}{CF} \quad (2.5)$$

$T_S$  = doba návratnosti [rok]

IN = investiční výdaj [mil. Kč]

CF = roční úspora nákladů [mil. Kč] [43]

Na obnovitelné zdroje energie, především fotovoltaiku, je však možné čerpat dotace. Dotační program Ministerstva průmyslu a obchodu zvaný Úspory energie, jehož účelem je snížení energetické náročnosti podnikatelského sektoru, nabízí dotace ve výši 0,5 mil. až 200 mil. Kč. Výše dotace bude odvozena od velikosti podniku:

- Malý podnik (do 49 zaměstnanců) – 50 % prokázaných způsobilých výdajů
- Střední podnik (50 až 249 zaměstnanců) – 40 % prokázaných způsobilých výdajů
- Velký podnik (od 250 zaměstnanců) – 30 % prokázaných způsobilých výdajů

Společnost Teplárny Brno je považována za velký podnik, tzn. že by mohla dostat dotaci přibližně 7,7 mil. Kč. V tomto případě by se prostá doba návratnosti pohybovala okolo 14 let.

Jako klíčová hodnotící kritéria pro udělení dotací jsou uvedena:

- Efektivní poměr výše investice vůči snížení emisí CO<sub>2</sub> v kg za rok
- Absolutní výše úspory energie oproti původnímu stavu
- Kvalitně zpracovaný, podrobný a odůvodněný rozpočet projektu
- Příprava projektu (stavební povolení, potvrzení že projekt nepodléhá stavebnímu řízení) [44]

## ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se skládá ze dvou hlavních částí. V teoretické části byla zpracována témata týkající se solární energie, fotovoltaických elektráren od konstrukce jednotlivých typů článků přes fotovoltaické panely a jejich provoz v podmínkách České republiky včetně podmínek připojení k distribuční síti až po jejich recyklaci. Dále práce rozebírá jednotlivé komponenty fotovoltaické elektrárny a jejich funkce.

V praktické části se práce zabývá samotným návrhem fotovoltaické elektrárny v provozu Špitálka akciové společnosti Teplárny Brno. Nejprve je zde popsán provoz Špitálka a vhodnost podmínek pro instalaci fotovoltaické elektrárny. Další kapitolu tvoří výběr komponent pro elektrárnu. Byly zvoleny panely Q.PEAK Duo – G6 350 Wp od společnosti Hanwha Q cells a třífázové střídače Fronius Symo o výkonu 20 kW. Na celkovou použitelnou plochu byl vypočten odpovídající počet panelů s určitým sklonem od roviny. Sklon 15° byl zvolen na základě několika simulací v systému PVGIS. Celkový instalovaný výkon elektrárny je 581 kWp. Následně je popsáno rozmístění a zapojení komponentů elektrárny. V práci není uvažováno s možnými překážkami na střeše jako jsou ventilační vývody nebo hromosvody. Lze tedy předpokládat, že i s uvažováním o něco nižší plochy, než byla změřena, může být maximální možný instalovaný výkon nižší o jednotky procent.

Provoz Špitálka je rozsáhlý průmyslový objekt, který má v průběhu roku velké rozdíly ve spotřebě energie. Zatímco v zimě spotřebuje obrovské množství energie (např. leden 2020 – 13,7 GWh), tak v létě energii do sítě dodává, což nekorresponduje s výrobou elektrické energie fotovoltaiky, která naopak v létě vyrobí výrazně více než v zimě. Důsledkem toho bude, že ve velkých zimních odběrech dokáže fotovoltaika pokrýt jen zlomek spotřebované energie. Naopak v létě navýší množství prodané energie do sítě distributora. Z celkové energie vyrobené fotovoltaikou bude tedy cca 70 % prodáno do sítě a 30 % spotřebováno v samotném objektu.

Celková roční předpovídaná výroba energie z fotovoltaiky činí 574,93 MWh, což odpovídá pokrytí asi 1,5 % z celkové roční spotřeby objektu v letech 2019-2020. V přepočtu to odpovídá úspoře 1,013 mil Kč ročně na elektrické energii. Konkrétně by se jednalo o navýšení prodeje do sítě o 387,14 MWh energie za 716 224 Kč a ušetření za nákup 160,79 MWh energie 297 468 Kč.

Při ekonomickém hodnocení projektu bylo počítáno s dotacemi na podporu obnovitelných zdrojů elektrické energie. Konkrétně se jedná o dotační program Úspory energie pro rok 2021. Pro velké podniky, do nichž spadá i společnost Teplárny Brno a.s. je možné získat dotace v hodnotě 30 % prokázaných způsobilých výdajů. V případě nákladů počítaných jako 22 mil Kč by to znamenalo 7,7 mil. Kč.

Pro tuto výši dotace byla vypočtena také doba návratnosti, která je 14 let. Výrobce panelů udává životnost 25 let s poklesem jmenovitého výkonu maximálně na 85 %. V případě získání dotace by potom elektrárna mohla po skončení doby návratnosti

pracovat dalších 11 let, kdy by se investice vyplácela. Panely samozřejmě mohou vyrábět energii i déle, pouze budou mít nižší výkon. V praxi se však tak velké poklesy výkonu nezaznamenávají.

Tato práce by měla investorovi pomoci s rozhodováním o investici do fotovoltaické elektrárny. Velkým faktorem bude výše dotací, které se podaří získat. K počáteční investici je také nutné počítat s dalšími náklady na údržbu, servis a revize elektrárny.

## LITERATURA

- [1] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2011, 176 s. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [2] MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 254 s. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [3] BRANDOS, Otakar. Naše Slunce. *Treking.cz* [online]. Ostrava: TREKING, 2007 [cit. 2020-28-11]. Dostupné z: <https://www.treking.cz/astronomie/slunce.htm>
- [4] DUS, Onřej. *Vliv zastínění na parametry solárních modulů* [online]. Brno, 2008 [cit. 2020-11-28]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace?zp\\_id=15534](https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace?zp_id=15534). Diplomová práce. FEKT VUT v Brně.
- [5] KOPUNEC, Vít. *Analytické metody solárních panelů a systémů* [online]. Brno, 2011 [cit. 2020-12-17]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=38558](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=38558). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [6] BŘÍZA, Martin. *Návrh fotovoltaické elektrárny* [online]. Praha, 2015 [cit. 2020-12-1]. Dostupné z: [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/62002/F3-BP-2015-Briza-Martin-Navrh\\_fotovoltaicke\\_elektrarny.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/62002/F3-BP-2015-Briza-Martin-Navrh_fotovoltaicke_elektrarny.pdf?sequence=5&isAllowed=y). Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [7] *Výroba fotovoltaických článků a panelů* [online]. Praha: Čez a.s., 2006 [cit. 2020-11-30]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k41.htm>
- [8] VONDRA, Tomáš. Organické solární panely trhají rekordy - a konečně jsou odolné proti poškození. In: *Obnovitelne.cz* [online]. Brno: Obnovitelne.cz, 2019 [cit. 2020-12-1]. Dostupné z: <https://www.obnovitelne.cz/clanek/818/organicke-solarni-panely-trhaji-rekordya-konecne-jsou-odolne-proti-poskozeni/>
- [9] ŠURKALA, Milan. Průhledné organické solární panely dosáhly 10,8% účinnosti. *Svět hardware* [online]. 2020, **2020** [cit. 2020-12-2]. ISSN 1213-0818. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/pruhledne-organicke-solarni-panely-dosahly-10-8-ucinnosti/52880>
- [10] BERAN, Ota. Překonají „popcornové“ solární články rekord v účinnosti?. *OSEL* [online]. Telč, 2008, **2008** [cit. 2020-12-2]. ISSN 1214-6307. Dostupné z: <https://www.osel.cz/3958-prekonaji-popcornove-solarni-clanky-rekord-v-ucinnosti.html>
- [11] Fotovoltaika v podmínkách České republiky. In: *Isofenenergy* [online]. České Budějovice: Isofen Energy, 2009 [cit. 2020-12-8]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/slunecni-zareni-v-cr.aspx>
- [12] MURTINGER, K., J. BERANOVSKÝ a M. TOMEŠ. *Fotovoltaika: elektrina ze slunce*. 2. vyd. Brno: ERA, 2008, 81 s. ISBN 978-80-7366-133-5.
- [13] KRÝCHA, Marel. *Hodnocení vlivu fotovoltaických elektráren na životní prostředí* [online]. České Budějovice, 2012 [cit. 2020-12-17]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/kclrcs/>. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.

- [14] BECHNÍK, Bronislav. Fotovoltaika: recyklace panelů II - recyklované materiály. In: *Czrea.org* [online]. Czech RE Agency, 2011 [cit. 2020-12-4]. Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika/fotovoltaika-recyklace-materialy-II>
- [15] BECHNÍK, Bronislav. Recyklace fotovoltaických panelů na konci životnosti. *TZB-info* [online]. 2011 [cit. 2020-12-5]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/7868-recyklace-fotovoltaickych-panelu-na-konci-zivotnosti>
- [16] MATAJS, Vladimír. Jak se recyklují solární panely a kdo to zaplatí?. In: *Solarniexperti.cz* [online]. České Budějovice: Solární experti, 2020 [cit. 2020-12-6]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/kolik-stoji-recyklace-solarnich-panelu/>
- [17] KUSALA, Jaroslav. Solární (fotovoltaické) články. In: *Cez.cz* [online]. 2006 [cit. 2020-12-6]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [18] *Pravidla provozování distribučních soustav: Příloha 4: Pravidla pro paralelní provoz výroben a akumulčních zařízení se sítí provozovatele distribuční soustavy.* In: . Jihlava: Energetický regulační úřad, 2018, ročník 2018.
- [19] Připojovací sítě a kodexy. *Energetický regulační úřad* [online]. Jihlava: Energetický regulační úřad, c2014-2020 [cit. 2020-12-8]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/pripojovaci-sitove-kodexy>
- [20] Kolik stojí solární panely?. In: *E.ON* [online]. České Budějovice: E.ON Česká republika [cit. 2020-12-9]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/solarni-panely-cena>
- [21] FV panel Q.cells 350 Wp. In: *SVP Solar* [online]. [cit. 2020-12-17]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/p/fv-panel-q-cells-350wp/ks/>
- [22] Panasonic fotovoltaické panely. In: *Krannich global solar distribution* [online]. Brno [cit. 2020-12-10]. Dostupné z: <https://cz.krannich-solar.com/cz/produkty/solarni-panely/panasonic.html>
- [23] Panasonic VBHN340SJ53. In: *E-shop Terms* [online]. České Budějovice, 2013 [cit. 2020-12-10]. Dostupné z: <http://eshop.terms.eu/cz/e-shop/2030700/c68811-fotovoltaicke-panely/panasonic-vbhn340sj53.html>
- [24] *Canadian solar* [online]. Guelph: Canadian solar [cit. 2020-12-11]. Dostupné z: <https://www.canadiansolar.com/>
- [25] Iftech. In: *Iftech* [online]. Olomouc: ifTECH, 2020 [cit. 2020-12-12]. Dostupné z: <https://shop.iftech.cz/solarni-panely/2915-solarni-panel-canadian-solar-350wp-poly-stribrny-ram.html>
- [26] HCM60X9 Mono 9BB 120 Cells Solar Panel 325W-345W. In: *DAH Solar* [online]. Hefei City: Anhui Daheng Energy Technology, c2015-2020 [cit. 2020-12-17]. Dostupné z: [https://www.dahsolarpv.com/hcm60x9-mono-9bb-120-cells-solar-panel-325w-345w\\_p150.html#pro\\_inquiry](https://www.dahsolarpv.com/hcm60x9-mono-9bb-120-cells-solar-panel-325w-345w_p150.html#pro_inquiry)
- [27] DAREBNÝ, Tomáš. *Návrh fotovoltaického systému rodinného domu* [online]. Brno, 2017 [cit. 2020-12-17]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=148832](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=148832). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.

- [28] Střídače. *Krannich global solar distribution* [online]. Brno: Krannich Solar [cit. 2020-12-17]. Dostupné z: <https://cz.krannich-solar.com/cz/produkty/stridace.html>
- [29] Fronius Symo 4.5-3-M WLAN. In: *SVP Solar* [online]. Praha: SVP Solar, 2020 [cit. 2020-12-17]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/p/fronius-symo-3-7-3-m-wlan/>
- [30] ZOBAL, Petr. *Jištění fotovoltaických zdrojů* [online]. Plzeň, 2016 [cit. 2020-12-17]. Dostupné z: [https://otik.zcu.cz/bitstream/11025/22982/1/DP\\_Zobal%20Petr\\_Jisteni%20fotovol%20taickyh%20zdroju.pdf](https://otik.zcu.cz/bitstream/11025/22982/1/DP_Zobal%20Petr_Jisteni%20fotovol%20taickyh%20zdroju.pdf). Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [31] *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM* [online]. 2019 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/#PVP](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP)
- [32] *Teplárny Brno* [online]. Brno: Teplárny Brno a.s., 2020 [cit. 2021-01-18]. Dostupné z: <https://www.teplarny.cz/>
- [33] Mapa slunečního osvitu. *Arcgis* [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=5cdb4bc28ff04948ac2b61c02a36d19e>
- [34] BERANOVSKÝ, Jiří a Jan TRUXA. *Alternativní energie pro váš dům. 2. aktualizované vydání*. Brno: EkoWATT, 2004, 152 s. ISBN 80-86517-89-6.
- [35] Google maps. *Www.google.com* [online]. Brno: CNES/Airbus, GEODIS, Maxar technologies, Mapová data, 2021 [cit. 2021-05-02]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/@49.1961245,16.6225372,365m/data=!3m1!1e3>
- [36] *Q.PEAK DUO-G6 340-355: Specifications subject to technical changes © Q CELLS Q.PEAK DUO-G6\_340-355\_2019-03\_Rev01\_EN*. Sonnenallee 17-21, 06766 Bitterfeld-Wolfen, Germany: Hanwha Q CELLS GmbH, 2019.
- [37] Fronius Symo 20.0-3-M. *Obchodsolar* [online]. Písek: SUN PI s.r.o., 2021 [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: <https://www.obchodsolar.cz/fronius/symo-20-0-3-M?tab=description#anch1>
- [38] Fronius solar configurator 4.0. *Fronius* [online]. Český Krumlov: Fronius international GmbH, 2021 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://fronius.solarconfigurator.de/solar.configurator/quick>
- [39] BOHŮN. *Přehled rozvodu el. energie PŠ*. Brno, 2014.
- [40] *Údaje o spotřebě z elektroměrů provozu Špitálka*.
- [41] Kabel CYKY-J 5x10. *Elektromateriál.cz* [online]. Košnice-Želevice, 2021 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: [https://www.elektromaterial.cz/Kabel-CYKY-J-5x10-d39.htm?gclid=CjwKCAjwhYOFBhBkEiwASF3KGZ6B8tq0PM1fYy01WtgS\\_FCHp091yittfIvNVk6TKmLW\\_UkbCIh83xoCa1MQAvD\\_BwE](https://www.elektromaterial.cz/Kabel-CYKY-J-5x10-d39.htm?gclid=CjwKCAjwhYOFBhBkEiwASF3KGZ6B8tq0PM1fYy01WtgS_FCHp091yittfIvNVk6TKmLW_UkbCIh83xoCa1MQAvD_BwE)
- [42] Solární kabel PREKAB SOLAR XH, 6mm<sup>2</sup>. *Hadex* [online]. Softima s.r.o., 2021 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: [https://www.hadex.cz/n348-100-solarni-kabel-prekab-solar-xh-6mm2-1500v-cervenyy-baleni-100m/?gclid=CjwKCAjwhYOFBhBkEiwASF3KGU5K4q0WtyoE9Cb3IoFsvxYpEwWih81BHFq4f-FankCvtYFB7TT44RoCh8MQAvD\\_BwE](https://www.hadex.cz/n348-100-solarni-kabel-prekab-solar-xh-6mm2-1500v-cervenyy-baleni-100m/?gclid=CjwKCAjwhYOFBhBkEiwASF3KGU5K4q0WtyoE9Cb3IoFsvxYpEwWih81BHFq4f-FankCvtYFB7TT44RoCh8MQAvD_BwE)
- [43] Doba návratnosti. *Inkapo projekty* [online]. České Budějovice: INKAPO [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://www.projekty-inkapo.cz/doba-navratnosti/>

- [44] Úspory energie. *Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost* [online]. Praha: Enovation s.r.o. [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://www.oppik.cz/dotacni-programy/uspory-energie>
- [45] Different types of solar panels. In: *Solarmarket* [online]. Perth: The Quote Company Pty. Ltd., 2020 [cit. 2020-12-1]. Dostupné z: <https://www.solarmarket.com.au/residential-solar/different-types-of-panels/>

# SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A - Výsledek Fronius konfigurátoru.....	65
Příloha B - PVGIS .....	66
Příloha C - Výkres .....	67



# Příloha A - Výsledek Fronius konfigurátoru

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging



## PROJECT

Country	Czech Republic
Project name	teplamy.brno

## PV MODULE

Modul manufacturer	Hanwha Q.Cells GmbH
Model	Q.PEAK DUO-G6 350
Min. / Max. module temperature	-10 °C / 70 °C
Add bifacial module gain	0%

## INVERTER

Inverter type	Symo 20.0-3-M
---------------	---------------

## SUMMARY

Inverter ratio	94%
Pmpp at 25 °C	19.25 kWp
MPPT	PV1: 2x19                      PV2: 1x17
Current Factor	1.00

## MPPT DETAILS

	PV1	PV2
String (str. x mod.)	2 x 19	1 x 17
Isc at 25 °C	21.58 A	10.79 A
Umpp at 70 °C	553.30 V	495.06 V
Uoc at -10 °C	847.00 V	757.84 V
Umpp at 25 °C	647.33 V	579.19 V
Pmpp at 25 °C	13.30 kWp	5.95 kWp
String fuses required	no	no
String combiner required	no	no

FRONIUS International GmbH accepts no guarantee for the completeness of the module and inverter data used or any false configurations created by the configurator, or faulty or inefficient system sizing. All liability claims against Fronius relating to damages of a material or conceptual type which were caused through the use of the Solar.configurator are basically excluded unless there is any demonstrably deliberate or grossly negligent fault on the part of Fronius. The Quick sizing is based on the following assumptions: No country-specific consideration of cosPhi, AC voltage, unbalanced loading or capacity limitation. Place of installation < 2000m. Specific yield for storage calculation = 1000 kWh/kWp. Fusing recommendation based on IEC 60364-7-712:2015. Deviations due to country specific requirements by utilities or authorities may occur.

1/1

# Příloha B - PVGIS



## PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

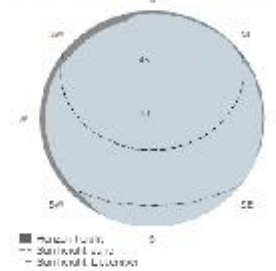
### Provided inputs:

Latitude/Longitude: 49.196, 16.623  
 Horizon: Calculated  
 Database used: PVGIS-SARAH  
 PV technology: Crystalline silicon  
 PV installed: 581 kWp  
 System loss: 14 %

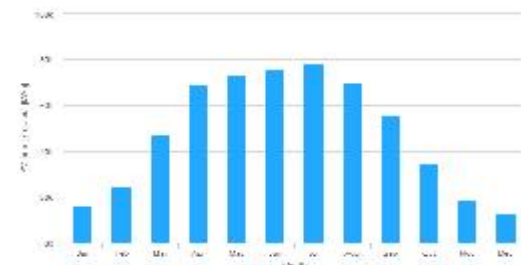
### Simulation outputs

Slope angle: 15 °  
 Azimuth angle: 0 °  
 Yearly PV energy production: 574930.63 kWh  
 Yearly in-plane Irradiation: 1292.33 kWh/m<sup>2</sup>  
 Year-to-year variability: 32639.40 kWh  
 Changes in output due to:  
 Angle of incidence: -3.41 %  
 Spectral effects: 1.44 %  
 Temperature and low irradiance: -9.13 %  
 Total loss: -23.43 %

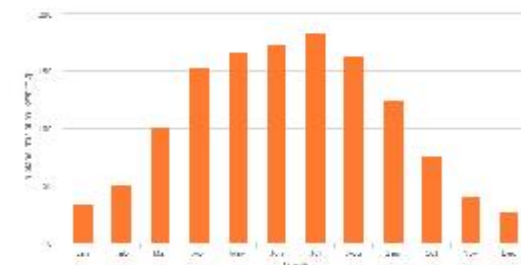
### Outline of horizon at chosen location:



## Monthly energy output from fix-angle PV system:



## Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:



## Monthly PV energy and solar irradiation

Month	E_m	H(t)_m	SD_m
January	16228.734.1	3875.2	
February	24267.450.5	6816.7	
March	47020.8100.3	9967.6	
April	68906.9153.0	9099.5	
May	73671.4166.4	10847.0	
June	75459.5174.0	5957.1	
July	78136.3183.9	8778.5	
August	69868.6162.5	6890.3	
September	55258.3124.0	6588.9	
October	34740.375.8	8441.2	
November	18659.440.3	3129.6	
December	12713.027.6	1985.6	

E\_m: Average monthly electricity production from the given system [kWh].  
 H(t)\_m: Average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m<sup>2</sup>].  
 SD\_m: Standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].

The European Commission retains the right to withdraw public access to information about its initiatives and European Union policies if general. Our goal is to keep the information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them.  
 However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.  
 This information is:  
 (a) a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity,  
 (b) not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date,  
 (c) sometimes linked to external sites over which the Commission services have no control and for which the Commission assumes no responsibility.  
 Special professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).



PVGIS ©European Union, 2001-2021.  
 Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2021/05/10

# Příloha C - Výkres

