



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

VYUŽITÍ FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY S BATERIOVÝM ÚLOŽIŠTĚM PRO POTŘEBY SKLADU A KANCELÁŘSKÝCH PROSTOR

USE OF PHOTOVOLTAIC POWER PLANT WITH BATTERIES FOR WAREHOUSE AND
OFFICE SPACES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Kořenek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

BRNO 2019

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektroenergetika**
Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. Jan Kořenek

ID: 173681

Ročník: 2

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Využití fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro potřeby skladu a kancelářských prostor

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Popis funkce FV systému, definice vlastností jednotlivých komponent
2. Typy akumulátorů, funkce, výhody, použití, komunikace (BMS)
3. Definice energetických potřeb objektu, popis technického řešení FVE
4. Provozní měření na FVE, zpracování energetického managementu, analýza měřených a vypočtených hodnot (vytvoření základních skriptů v Matlabu pro zpracování a analýzu dat)
5. Ekonomické zhodnocení provozu FVE bez/s dotační podporou

DOPORUČENÁ LITERATURA:

dle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 4.2.2019

Termín odevzdání: 22.5.2019

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

Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Bibliografická citace práce:

KOŘENEK, J. *Využití fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro potřeby skladu a kancelářských prostor*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2019. 69 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D..

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma *Využití fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm pro potřeby skladu a kancelářských prostor* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové 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: 22. 5. 2019

.....

ABSTRAKT

V této diplomové práci se zabývám fotovoltaickou elektrárnou ve Zlíně. Elektrárna je určena pro zásobování elektřinou kancelářských budov a skladu. Pro lepší soběstačnost systému je navržen také bateriový systém jako uložení energie, kterou není objekt schopen spotřebovat.

V teoretické části jsem popisoval rozvoj fotovoltaiky, komponenty fotovoltaických elektráren a dotační programy v rámci České republiky. Poté byl charakterizován daný objekt a popsán dotační program, kterým byl daný projekt finančně podpořen.

V praktické části této práce bylo za úkol vypracovat skripty v programu Matlab pro vyhodnocení online naměřených dat. Dalším bodem bylo energetické zhodnocení provozu dané fotovoltaické elektrárny. V závěru byla poté vypočítána návratnost systému s dotační podporou a bez podpory, což bylo provedeno v programu PV SOL.

Nakonec bylo zhodnoceno, jak systém funguje, jak je využívána elektrická energie vyrobená fotovoltaickou elektrárnou. V závěru je poté shrnutí daných měření a výpočtů.

KLÍČOVÁ SLOVA: fotovoltaická elektrárna; bateriový systém; fotovoltaický panel, návratnost fotovoltaické elektrárny; střídač; dotační program; tok elektrické energie; energetický management;

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the photovoltaic power plant in Zlín. Power plant is used for electricity supply of office building and stock. For better self-sufficiency there is designed battery system as storage for electrical energy which the object can not consume itself.

In the theoretical part there are described development of photovoltaics and components used in power plants. Further there was described the building, construction of photovoltaic power plant and eventually also a subsidy program by which the project was financially supported.

Main task in the practical part was to develop scripts in Matlab for evaluation of online measured data. Next point was an energetic evaluation of power plant operation. In the end there was calculated power plant return with subsidy support and without support. These calculations were done in PV SOL software.

Eventually, there was evaluated how the system works and how the power generated by the photovoltaic power plant is used. In conclusion, there is summary of the measurements and calculations.

KEY WORDS: photovoltaics power plant; battery system; photovoltaic panel, photovoltaics power plant return; inverter; subsidy program; electricity flow; energy management;

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Petru Mastnému, Ph.D. za akademickou pomoc a také za užitečné rady ohledně problematiky daného tématu. Děkuji také firmě NWT, a.s., a zejména Ing. Radimu Peškovi za jeho obětavou pomoc s řešením problémů a za poskytnutí mnoha praktických rad, které určitě v budoucnu využiji. Také bych chtěl poděkovat Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně za poskytnutí dat osvětu z meteostanice. V neposlední řadě děkuji své rodině, která mně během celého studia podporovala a mi poskytla klidné a pohodové prostředí.

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	12
1 ÚVOD	13
2 FOTOVOLTAIKA	14
2.1 HISTORIE VE SVĚTĚ	14
2.2 ROZVOJ FOTOVOLTAIKY V ČR	15
2.2.1 STRUČNÁ HISTORIE	15
2.2.2 SOUČASNOST	15
2.3 FOTOELEKTRICKÝ JEV A PRINCIP FUNKCE FV ČLÁNKŮ	16
2.4 ROZDĚLENÍ FV SYSTÉMŮ	17
2.4.1 OSTROVNÍ SYSTÉMY	17
2.4.2 SYSTÉMY PŘIPOJENÉ K ROZVODNÉ SÍTI	18
3 JEDNOTLIVÉ KOMPONENTY FV SYSTÉMU	20
3.1 FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY	20
3.1.1 DRUHY FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ	20
3.1.2 ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI	23
3.1.3 POROVNÁNÍ ÚČINNOSTÍ FV ČLÁNKŮ	25
3.2 STŘÍDAČE	25
3.2.1 PRINCIP FUNKCE A ROZDĚLENÍ	25
3.2.2 AUTONOMNÍ STŘÍDAČE	26
3.2.3 PARAMETRY STŘÍDAČŮ	28
3.3 AKUMULÁTORY	29
3.3.1 OLOVĚNÉ AKUMULÁTORY	30
3.3.2 LITHIUM-IONTOVÉ AKUMULÁTORY	33
3.3.3 BATTERY MANAGEMENT SYSTÉM (BMS)	35
4 DOTAČNÍ PROGRAMY	36
4.1 OPERAČNÍ PROGRAM PODNIKÁNÍ A INOVACE PRO KONKURENCESCHOPNOST - OPPIK (2014-2020)	36
4.1.1 FV SYSTÉMY S/BEZ AKUMULACE PRO VLASTNÍ SPOTŘEBU	36
5 FVE ZLÍN	39
5.1 POPIS OBJEKTU	39
5.2 PRŮBĚH INSTALACE FVE	41
5.3 POUŽITÉ KOMPONENTY	42
5.3.1 STŘÍDAČE	42
5.3.2 AKUMULÁTORY	43

5.3.3 MĚNIČ/NABÍJEČ	44
5.3.4 VYVEDENÍ VÝKONU	45
5.3.5 FOTOVOLTAICKÉ PANELE	45
5.3.6 ROZVÁDĚČE.....	47
6 TVORBA SKRIPTŮ PRO ZPRACOVÁNÍ DAT	48
6.1 VYKRESLENÍ GRAFŮ VELIČINY PODLE VLASTNÍ VOLBY.....	48
6.2 ZOBRAZENÍ PRŮBĚHŮ ENERGIE	50
7 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT	52
7.1 KLIMATICKÉ PODMÍNKY	52
7.1.1 POROVNÁNÍ VÝROBY PRO NĚKOLIK RŮZNÝCH DNŮ ROKU 2019	55
7.2 TOK ENERGIÍ FVE V JEDNOTLIVÝCH MĚSÍCÍCH ROKU 2019.....	56
7.3 POROVNÁNÍ VÝROBY FVE SE SIMULACÍ	59
8 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ V PROGRAMU PV SOL	61
8.1 VÝKAZ VÝMĚR.....	61
8.2 MODEL V PROGRAMU PV SOL.....	62
8.3 VÝPOČET NÁVRATNOSTI S PODPOROU V PODOBĚ DOTACE.....	63
8.4 VÝPOČET NÁVRATNOSTI BEZ DOTACE.....	64
9 ZÁVĚR.....	66
POUŽITÁ LITERATURA	68

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2-1 Krystalická stavba křemíku [1]</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 2-2 Znárodnění tvorby oblasti přechodového náboje na přechodu PN [1]</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 2-3 Rozdělení fotovoltaických systémů [1]</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 2-4 Princip funkce ostrovního systému [1]</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 2-5 Princip a komponenty FV systému připojeného k rozvodné síti [1].....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 3-1 Rozdělení FV článků [1]</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 3-2 Struktura vrstev amorfního článku [1]</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 3-3 Charakteristická křivka krystalického křemíkového FV článku [1]</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 3-4 Princip funkce síťového střídače a jeho zapojení [1]</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 3-5 Životnost a hloubka vybití různých druhů akumulátorů</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 3-6 Konstrukce a princip funkce lithium-iontových článků [1]</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 5-1 Fotovoltaická elektrárna při pohledu shora.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 5-2 Blokové schéma FV systému.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 5-3 Výkres s rozložením panelů na střeše objektu</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 5-4 Průběh instalace FVE.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 5-5 Panel na rozvaděčové skříni sloužící k dálkovému ovládnání</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 5-6 Použitý střídač Fronius Symo15.0-3-M [6].....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 5-7 Akumulátor BMZ 8,5 kWh [7]</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 5-8 Princip a schéma zapojení nabíječe/měníče Victron Energy [8]</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 5-9 Použitý fotovoltaický panel WSP-310M6</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 5-10 Krytí FVE před klimatickými podmínkami</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 5-11 Technická místnost s rozvaděčovou skříni, střídači, akumulátory a měniči/nabíječi ...</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 6-1 Úvod skriptu k vykreslení grafů průběhů veličin v programu Matlab</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 6-2 Výkon každé fáze střídače [22] zvlášt' dostupné z [11]</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 6-3 Výkon všech fází střídače [22] dohromady dostupné z [11]</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 6-4 Zobrazení toku elektrické energie z FVE do baterie, sítě a ke spotřebě v měsíci dubnu 51</i>	
<i>Obr. 6-5 Sloupcové zobrazení toku elektrické energie v měsíci dubnu.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 7-1 Hodnoty osvitů pro leden a únor 2019</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 7-2 Hodnoty osvitů pro březen a duben 2019</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 7-3 Porovnání výroby z FVE pro různé dny roku 2019</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 7-4 Souhrn toků energie od začátku roku 2019</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 7-5 Grafické rozdělení výroby elektrické energie z FVE v roce 2019</i>	<i>58</i>

<i>Obr. 7-6 Grafické znázornění rozdělení spotřeby objektu v roce 2019</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 7-7 Porovnání výroby z FVE ze simulace PVSOL se skutečnými hodnotami.....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 8-1 Model FVE v programu PV SOL (pohled shora)</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 8-2 Model FVE v programu PV SOL (pohled z jihozápadní strany).....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 8-3 Cashflow pro FVE s dotací kolem 2 milionů.....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 8-4 Cashflow pro FVE bez dotace</i>	<i>65</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 2-1 Vývoj výroby elektrické energie a instalovaného výkonu FVE ve 21. století v ČR [2] ...</i>	<i>15</i>
<i>Tab. 3-1 Přehled charakteristických veličin FV článků [1]</i>	<i>23</i>
<i>Tab. 3-2 Porovnání maximálních účinností různých druhů fotovoltaických článků [1]</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 5-1 Parametry použitého střídače Fronius Symo 15.0-3-M [6]</i>	<i>43</i>
<i>Tab. 5-2 Parametry akumulátoru BMZ ESS 9.0 [7]</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 5-3 Parametry měniče/nabíječe Victron Energy Quattro [8]</i>	<i>45</i>
<i>Tab. 5-4 Parametry použitých FV panelů WSP-310M6 [10].....</i>	<i>46</i>
<i>Tab. 7-1 Hodnoty intenzit slunečního záření z meteostanice na UTB ve Zlíně [12].....</i>	<i>53</i>
<i>Tab. 7-2 Hodnoty pro výpočet skutečné účinnosti přeměny sluneční energie na elektrickou.....</i>	<i>54</i>
<i>Tab. 7-3 Porovnání výroby z FVE pro různé dny roku 2019</i>	<i>55</i>
<i>Tab. 7-4 Číselný souhrn toků energie od začátku roku 2019.....</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 7-5 Procentuální rozložení výroby z FVE a spotřeby v jednotlivých měsících</i>	<i>57</i>
<i>Tab. 7-6 Porovnání skutečné výroby FVE a hodnot simulovaných v programu PVSOL.....</i>	<i>60</i>
<i>Tab. 8-1 Výkaz výměr vybraných položek [14]</i>	<i>61</i>
<i>Tab. 8-2 Zjednodušený výkaz výměr [14]</i>	<i>62</i>
<i>Tab. 8-3 Číselné porovnání toku peněz pro FVE bez dotační podpory/s dotační podporou</i>	<i>65</i>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

η_{AN}	účinnost přizpůsobení střídačů	(%)
η_{CEC}	Kalifornská účinnost střídačů	(%)
η_{EURO}	Evropská účinnost střídačů	(%)
η_{WM}	účinnost přeměny střídačů	(%)
$\eta_{PŘEMĚNA}$	účinnost přeměny sluneční energie na elektrickou	(%)
AC	střídavý proud (alternating current)	
AM	Air Mass	
ASi	amorfní křemík	
B	bór	
C	kapacita	(Ah)
CdTe	teluričitan kademnatý	
ČR	Česká republika	
DC	stejnoseměrný proud (direct current)	
ERÚ	Energetický regulační úřad	
E_{FVE}	elektrická energie vyrobená fotovoltaickou elektrárnou	(kWh)
E_{PANELY}	energie dopadající na plochu fotovoltaických panelů	(kWh)
FF	faktor plnění (fill factor)	(-)
FV	fotovoltaický/á/é	
FVE	fotovoltaická elektrárna	
H ₂ SO ₄	kyselina sírová	
$I_{MĚSÍC}$	celkový osvit za celý měsíc	(kWh/m ²)
I_{MPP}	proud v bodě maximálního výkonu	(A)
I_{SC}	proud nakrátko	(A)
MPP	bod maximálního výkonu (maximum power point)	
MPPT	(maximum power point tracker)	
NF	nízkofrekvenční	
OPPIK	Operační program podnikání a inovace pro konkurenceschopnost	
OTE	operátor trhu s elektřinou	
P_{MPP}	maximální výkon za standardních testovacích podmínek	(W)
Si	křemík	
STC	standard term condition (standardní testovací podmínky)	
TCO	transparent conductive oxide (transparentní a vodivá vrstva oxidu kovu)	
U_{0C}	napětí naprázdno	(V)
U_{MPP}	Napětí v bodě maximálního výkonu	(V)
VF	vysokofrekvenční	
ZnO ₂	oxid zinečnatý	

1 ÚVOD

Již delší dobu lidé po celém světě přemýšlejí a hledají nové možnosti, jak získat energii. Ropa, zemní plyn, černé a hnědé uhlí. Těžba všech těchto surovin způsobuje velký zásah do přírody a navíc pomalu, ale jistě docházejí, takže se zrak obrací na obnovitelné zdroje. Kromě větrných nebo vodních elektráren se v současné době čím dál tím častěji využívá také sluneční energie v podobě fotovoltaických elektráren.

Tento typ obnovitelného zdroje je hodně podporován prostřednictvím dotací, zájemci mohou při splnění několika podmínek dostat značnou finanční injekci pro realizaci. I přes hromadu papírování roste díky této finanční podpoře velmi rychle počet instalací, a čím dál tím více domácností, firem nebo podnikatelů využívá právě slunečního záření a fotovoltaických panelů k produkci elektrické energie pro vlastní spotřebu. Objekty jsou tedy čím dál tím víc soběstačnější a elektrizační síť se tak lépe připravuje na postupné odstavování velkých uhelných elektráren, které nás z důvodů plošného snižování emisí během dalších let nevyhnutelně čeká. Díky budování těchto menších zdrojů se výroba decentralizuje, což bude nejspíš trend blízké budoucnosti. Tohle ovšem může také nadělat problémy. Když bude mít hodně domácností nainstalované fotovoltaické elektrárny a bude hodně svítit slunce, vyrobenou elektrickou energii nebudou schopny spotřebovat, takže ji budou muset dodávat do sítě, pro kterou bude velmi těžké, aby zůstala vyvážená a nerozkolísala se.

Tuto skutečnost částečně řeší instalace akumulčního systému, který dokáže uložit vyrobenou energii v době přebytku a objekt ji poté může využít v čase malé výroby. Tím se vyrobená elektrická energie využije téměř v plné míře. Akumulátory vhodné pro fotovoltaiku již nejsou tak velkou finanční zátěží a jsou obsaženy také v podmínkách některých dotací, takže se jejich pořízení začíná vyplácet. Nicméně pořád je jejich cena velkou částí celkových nákladů na výstavbu elektrárny. Ceny akumulátorů ovšem budou v blízké době ještě klesat, když vezmeme v potaz globální potřebu akumulace elektrické energie nebo také rozvoj elektromobilů.

Pro fotovoltaické panely je nevýhodou jejich velká závislost na teplotě. Proto také mají nejlepší účinnost v jarních měsících, jelikož v létě, kdy teploty přesahují 30 °C může být teplota panelů ještě několik desítek stupňů vyšší a účinnost takového panelu úměrně klesá s rostoucí teplotou.

2 FOTOVOLTAIKA

Fotovoltaika má za sebou velmi zajímavý vývoj. Od začátku 20. století, kdy Albert Einstein ve svém díle vysvětlil fotoelektrický jev, přes první funkční fotovoltaický článek v 50. letech 20. století a původní použití ve vesmíru pro účely poskytování elektrické energie, až po masivní nárůst instalací ve firmách, rodinných domech nebo i obyčejných chatách ve 21. století. Hlavním důvodem je to, že výroba elektrické energie z fosilních paliv jako je hnědé a černé uhlí nebo z nukleárních paliv, není možná po dlouhou budoucnost. V současné době je elektrické energie potřeba více než kdy předtím, a poptávka po ní roste i nadále.

Proto se svět rozhodnul pro obnovitelné zdroje a samozřejmě volba je kromě vody a větru také Slunce jako nevyčerpatelný zdroj energie. Používání tohoto druhu energie bylo také zvýhodněno díky zlepšování účinnosti fotovoltaických panelů, a hlavně snižování pořizovacích cen a možnost zažádat si o dotace na výstavbu. [1]

2.1 Historie ve světě

Může se zdát, že historie fotovoltaiky nebude sahat to daleké minulosti, ovšem opak je pravdou. Již v roce 1839 objevil francouzský fyzik Edmond Becquerel, otec Henryho Becquerela, že když dopadá sluneční záření na dvě platinové elektrody, které se nacházejí v roztoku, má to za následek vznik proudu. Po následující desetiletí se v praktickém hledisku nic nedělo, až v roce 1904 již zmiňovaný Albert Einstein popsal fotoelektrický jev. Tomuto efektu se ještě budu podrobněji věnovat v dalším textu. Opět se tento poznatek nedokázalo nijak prakticky využít, jelikož na solární článek v praxi použitelný, byl potřeba rozvoj polovodičové techniky. Nakonec tedy až po padesáti letech, v roce 1954, byl v USA, v Bellových laboratořích vyroben první solární článek. Zasloužili se o to vědci Chapin, Fuller a Pearson. Zajímavostí je, že tento první prototyp měl účinnost 6 %, která byla rychle zvednuta na 10 %.

Od té doby se fotovoltaické panely začaly používat ve větším měřítku. Ovšem největší využití bylo pouze v oblasti kosmologie, kdy byly používány jako zdroj energie satelitu a předčily očekávání, když dokázaly dodávat energii delší čas, než se předpokládalo. Použití na Zemi ovšem nebylo pořádně možné hlavně kvůli vysoké ceně. Přesto se po letech výzkumu panely dostaly například do kalkulaček nebo hodinek a postupně se rozvíjela jejich použitelnost.

V 70. letech 20. století, při probíhající ropné krizi, se poté začalo přemýšlet o použití článků také na Zemi. Na počátku osmdesátých let poté byla produkce na světě o něco menší než 20 MW/rok. Když to porovnáme s rokem 2011, kdy byla celosvětová produkce 37 000 MW_p, vidíme, že za 30 let se produkce zvětšila 1850x. V současné době se očekává velký nárůst hlavně v Asii (Čína, Indie), poté v Brazílii, USA, a také v Arabských regionech.

Nejpoužívanějším materiálem byl i přes nízkou absorpci světla od počátku křemík. Pro fotovoltaické články mohly být použity křemíkové krystaly, které se nehodily do čipového průmyslu. Postupně se i pomocí takzvané Float-Zone metod výroby křemíku vyšplhala účinnost článků až na 20 % a jeho cena klesla od počátku 21. století do současnosti na jednu pětinu.

Dalším používaným materiálem byl také křemík, ovšem v amorfní fázi, který se od krystalického křemíku značně odlišuje. První takový článek se vyrobil roku 1976, ovšem účinnost byla daleko nižší než u krystalické verze a postupně se ještě snižovala. V dnešní době se používá spíše na speciální instalace, takže má místo na trhu jen minimální. [1]

2.2 Rozvoj fotovoltaiky v ČR

2.2.1 Stručná historie

Začátek rozvoje fotovoltaiky u nás je orámován zákonem z roku 2005 o podpoře využívání obnovitelných zdrojů. Do té doby u nás bylo pouze několik instalací, které ovšem nebyly vůbec podobné současným, jak co se týče výkonu, tak také konstrukcí. Podpora byla ovšem malá, takže se investice ještě v této době nevyplatila a většinou byly elektrárny instalovány pouze technickými nadšenci.

V roce 2008 nastal celosvětový pokles cen křemíku, takže od tohoto roku je možno hovořit o pořádném počátku fotovoltaických instalací u nás.

2.2.2 Současnost

Z hlediska rozmístění instalovaného výkonu podle krajů v roce 2016, není žádné překvapení, že na vedoucích příčkách jsou kraj Jihomoravský a Jihočeský s téměř 450, resp. 250 MW_p. Na opačném konci je poté kraj Karlovarský s instalovaným výkonem 15 MW_p.

Zlínský kraj, kde se nachází FVE, kterou budu v této diplomové práci analyzovat, měl v roce 2016 instalovaný výkon přes 150 MW_p, což jej řadilo na 6. místo mezi všemi kraji. V hustotě instalovaného výkonu na plochu se umístil dokonce na 3. místě mezi všemi kraji s hodnotou 40 kW_p/km². [1]

V roce 2017 se podle zprávy Ministerstva průmyslu a obchodu obnovitelné zdroje podílely na 11,1 % hrubé výroby elektrické energie. Samotné fotovoltaické elektrárny vyrobily 2 193 GWh, což vykazuje přírůstek oproti roku 2016 celkem o 3 %. Ovšem nejvyšší hodnoty výroby dosáhly v roce 2015, kdy to bylo 2 263 GWh. Z celkové hrubé výroby elektrické energie z OZE (kolem 9 600 GWh) poté fotovoltaika zastupuje přibližně 23 %.

V tabulce 2-1 lze vidět vývoj výroby a instalovaného výkonu fotovoltaických elektráren podle dat Ministerstva průmyslu a obchodu, ERÚ a OTE. Lze v ní krásně sledovat enormní nárůst mezi lety 2008-2011, kdy stoupl instalovaný výkon téměř 50x a výroba dokonce téměř 170x. Hlavním důvodem byly dotační programy, které znamenaly velkou finanční podporu, a tím pádem klesla i návratnost celého systému. Jednotlivé dotační programy ještě dále budou rozebrány.

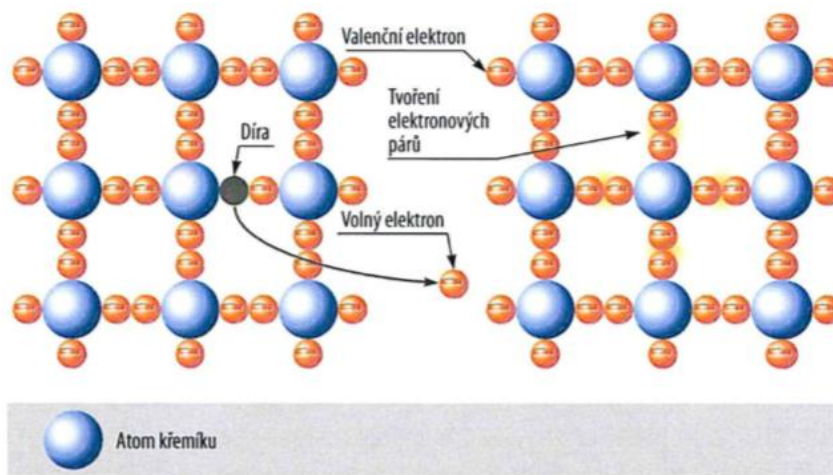
Tab. 2-1 Vývoj výroby elektrické energie a instalovaného výkonu FVE ve 21. století v ČR [2]

FTV	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Výroba (MWh)	50	81	116	184	291	414
Instalovaný výkon (MWp)	0,072	0,124	0,155	0,289	0,413	0,586
FTV	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Výroba (MWh)	592	2127	12 937	88 807	615 702	2 182 018
Instalovaný výkon (MWp)	0,841	3,961	39,5	464,6	1 727	1 913
FTV	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Výroba (MWh)	2 148 624	2 032 654	2 122 869	2 263 846	2 131 455	2 193 368
Instalovaný výkon (MWp)	2 022	2 063,5	2 067,4	2 074,9	2 067,9	2 069,5

2.3 Fotoelektrický jev a princip funkce FV článků

Princip funkce bude popsán na nejrozšířenějším materiálu k výrobě fotovoltaických článků, a to křemíku. Na výrobu článků je potřeba velice čistý křemík, čehož už v dnešní době není takový problém dosáhnout. Je známé, že atom křemíku má celkem 4 valenční elektrony v elektronovém obalu. Stabilní konfigurace dosáhne tak, že vždy dva elektrony sousedních atomů vytvoří elektronové páry, jak lze vidět na obrázku 2-1.

Obr. 2-1 Krystalická stavba křemíku [1]

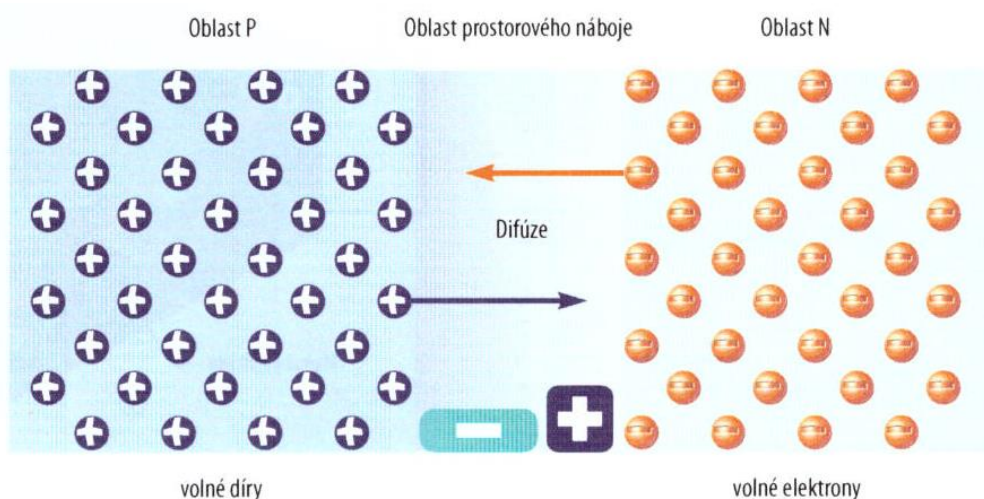


Vlivem tepla nebo světla mohou být elektrony narušeny, takže se mohou volně pohybovat a zanechávají po sobě díry. To se nazývá jako vlastní vodivost, kterou ovšem nelze využít k produkci elektrické energie. K tomu je potřeba, aby se do křemíku doplnily cíleně příměsi, které mají buď o jeden valenční elektron méně (bór) než křemík nebo o jeden valenční elektron více (fosfor).

Když do křemíku doplníme fosfor s pěti valenčními elektrony, vždy jeden elektron z každého atomu bude přebývat. Ten je poté volný, může se v mřížce pohybovat a nést elektrický náboj. Tento způsob označujeme jako dotování příměsí typu N. U dotování příměsí typu P, v našem případě bórem se třemi valenčními elektrony, zase bude jeden vazební elektron chybět a je k dispozici díra. Ta může být doplněna elektrony křemíku a vznikne opět nová díra.

Volné náboje ale obecně nemají žádný směr pohybu. To se ovšem mění, pokud se spojí vrstvy P a N do takzvaného PN přechodu. Zde se přebytečné elektrony z polovodiče typu N difundují do polovodiče typu P. Vzniká oblast prostorového náboje, což je místo, kde se vyskytují volné nosiče náboje. Kladně nabitě atomy zůstávají v oblasti N přechodu, naopak záporně nabitě jsou v oblasti P přechodu. To má za následek vznik elektrického pole. Vystavení světlu polovodiče PN vede k tomu, že elektrony absorbují fotony a dochází k rozbití elektronové vazby. Elektrony poté putují do oblasti N, kdežto díry do oblasti P. Tento jev se poté nazývá jako *fotoelektrický*. Díky difúzi až do kontaktů je poté na článku napětí. Když není zatížen, je zde napětí naprázdno. Při uzavření obvodu jím poté protéká proud. [1]

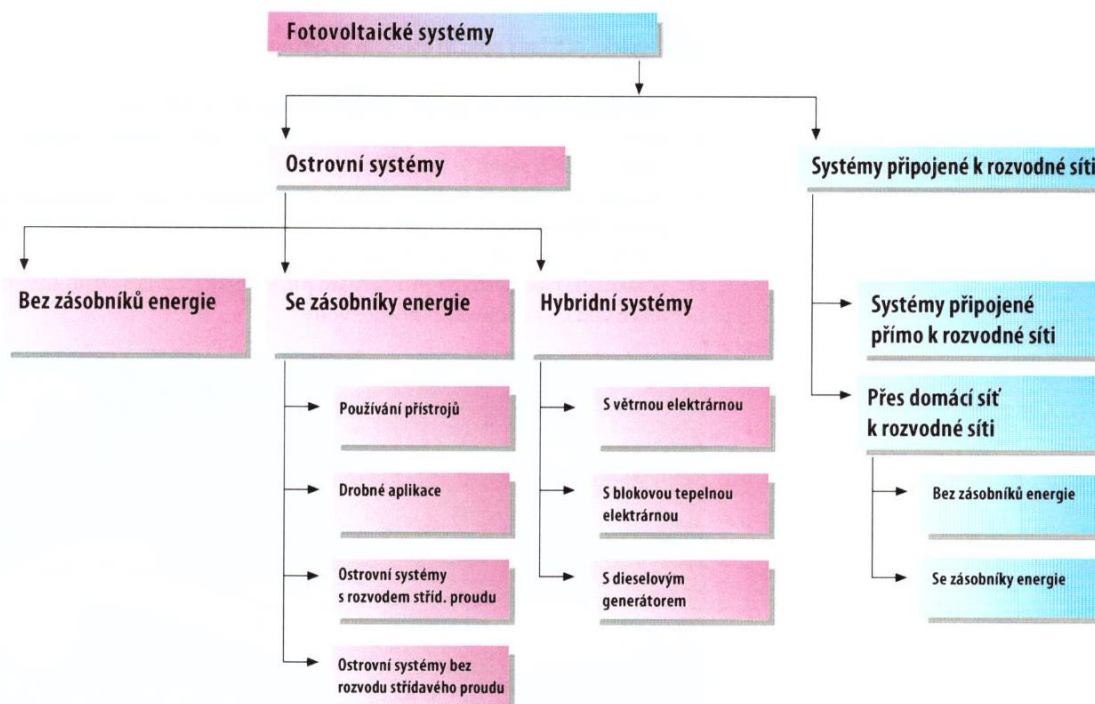
Obr. 2-2 Znárodnění tvorby oblasti přechodového náboje na přechodu PN [1]



2.4 Rozdělení FV systémů

Obecně můžeme fotovoltaické systémy rozdělit na dvě hlavní skupiny, a to ostrovní systémy a systémy připojené k ostrovní síti. Na obrázku 2-3 můžeme toto rozdělení vidět, a to i s různými aplikacemi.

Obr. 2-3 Rozdělení fotovoltaických systémů [1]

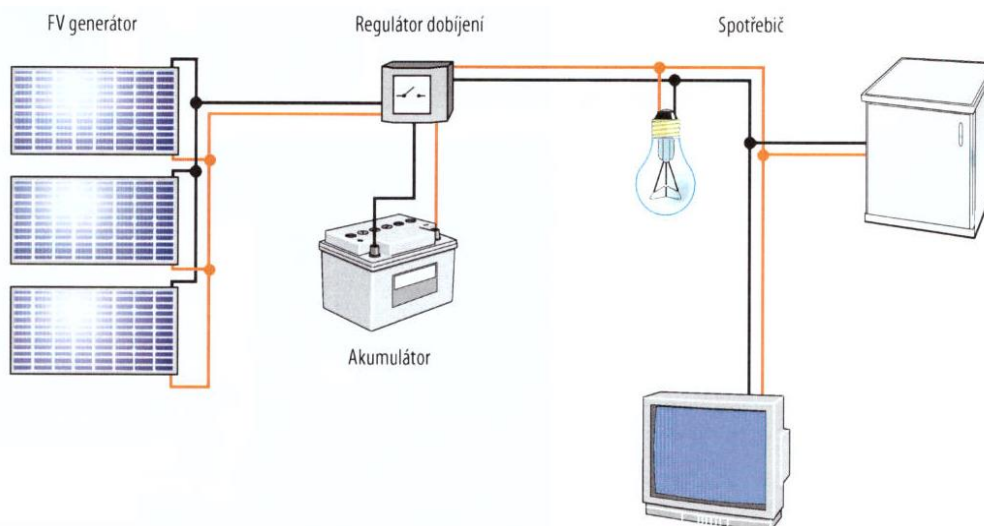


2.4.1 Ostrovní systémy

Tyto systémy byly prvními oblastmi použití fotovoltaiky. Instalovaly se na místa, kde nebyla možnost napájení z elektrizační sítě. V současnosti toto použití roste hlavně v rozvojových zemích, kde je často velké množství domácností, ale i průmyslových budov bez možnosti dodávky elektrické energie. Nové možnosti se také otevírají i průmyslově rozvinutým zemím.

Ostrovní systémy většinou používají akumulátory energie, které v sobě přebytečnou energii dokážou uchovat. Vyrovná se tak časový posun mezi vyrobenou a spotřebovanou elektrickou energií. Nutné je také doplnit akumulátor odpovídajícím regulátorem dobíjení. Ten je použit hlavně kvůli ochraně a vysoké životnosti. O těchto přístrojích se budu více zmiňovat v dalších kapitolách. Systém může být také doplněn větrným generátorem, v tomto případě poté mluvíme o hybridním systému. Ostrovní systém a jeho hlavní části lze vidět na obrázku 2-4.

Obr. 2-4 Princip funkce ostrovního systému [1]



Příklady použití:

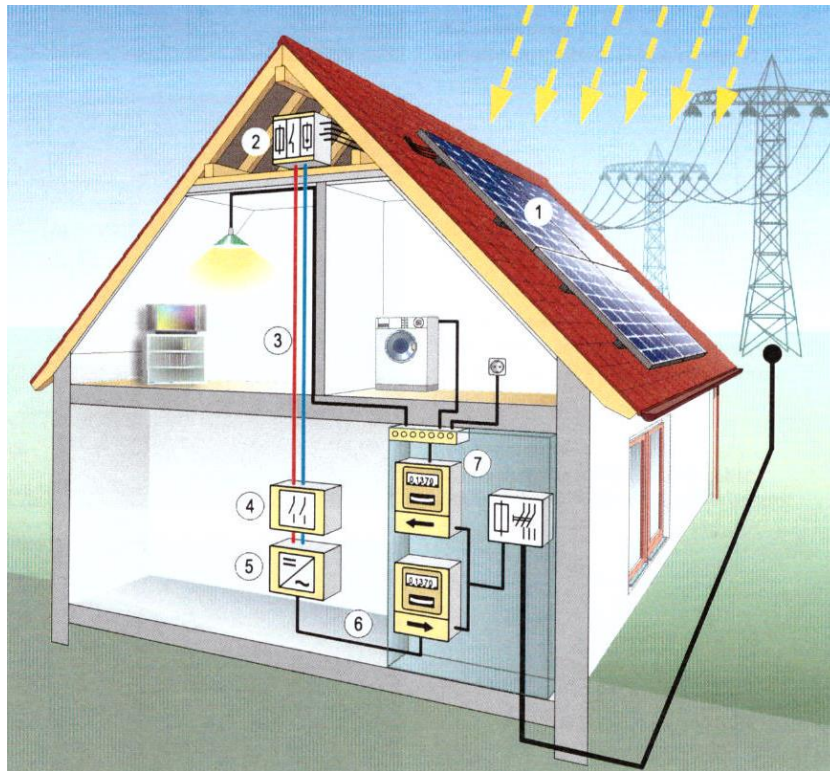
- Menší aplikace jako kalkulačky, svítilny nebo nabíječky
- Horské chaty a domácnosti v rozvojových zemích ležící mimo civilizaci
- Systémy v autech, karavanech nebo lodích
- Systémy pro čerpání pitné vody a zavlažování
- Zahradnictví, krajinářství

2.4.2 Systémy připojené k rozvodné síti

Jak již název napovídá, tyto systémy se vyznačují tím, že na rozdíl od ostrovních systémů jsou připojeny k veřejné distribuční síti. V současnosti jsou celosvětově tyto systémy v převaze. Většinou systém část vyrobené energie spotřebuje a přebytek se poté dodává do sítě. Dříve se používaly převážně na rodinné domy, ale v současnosti roste podíl instalací na různé druhy budov, od průmyslových přes obchodní centra až po základní školy.

Díky nárůstu obnovitelných zdrojů, středních i menších FV systémů se přesouvají regulace management na síť středního a nízkého napětí. Střídače by tak měly být schopny v současné době regulovat frekvenci, jalový výkon i napětí.

Obr. 2-5 Princip a komponenty FV systému připojeného k rozvodné síti [1]



Hlavní komponenty jsou číslem označeny na obrázku 2-5 a jsou to:

1. FV generátor (moduly zapojené do série)
2. Rozváděč zdroje
3. Kabeláž na DC straně
4. Hlavní DC vypínač
5. Střídač
6. Kabeláž na AC straně
7. Skříň s rozvodem, elektroměr výroby a spotřeby a domovní přípojka

Opět o nich bude více zmíněno v dalších kapitolách.

3 JEDNOTLIVÉ KOMPONENTY FV SYSTÉMU

Každý fotovoltaický systém se skládá z určitých komponentů. V této kapitole budou ty nejdůležitější detailněji popsány, popřípadě vysvětlen jejich princip a popsány jejich parametry a veličiny.

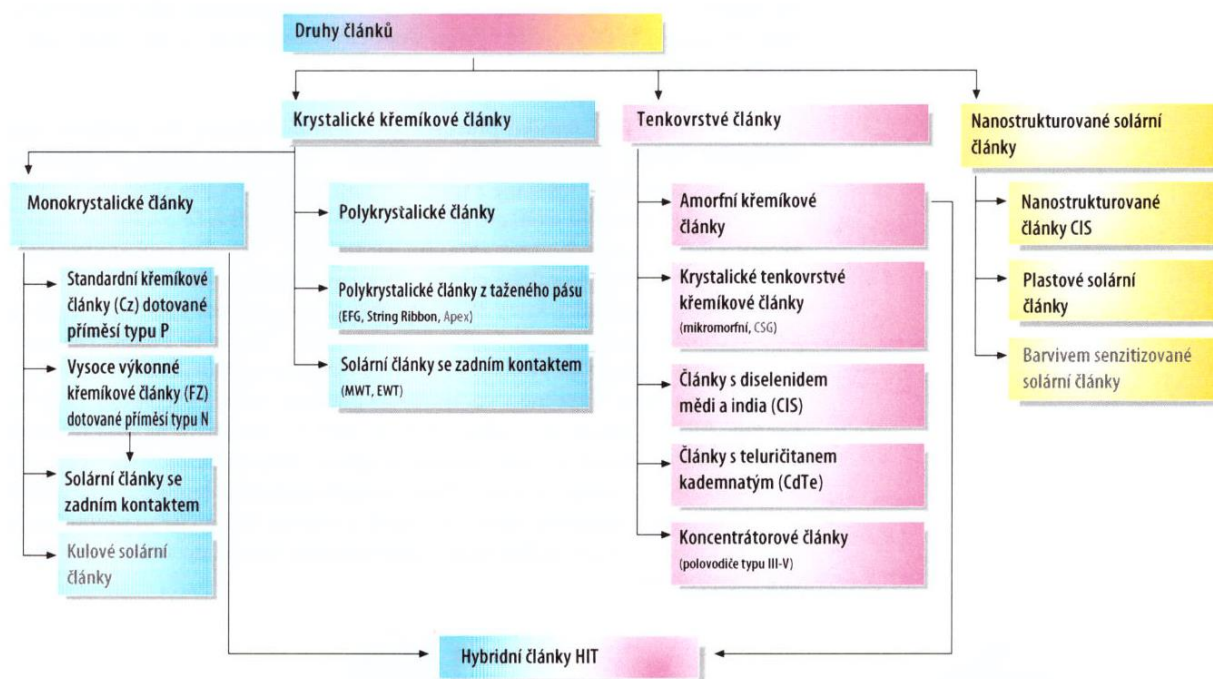
3.1 Fotovoltaické Články

Nejdůležitější komponenty FV systému jsou bezesporu články, díky kterým může docházet k fotoelektrickému jevu a přeměně světelné energie na energii elektrickou.

3.1.1 Druhy fotovoltaických článků

V současné době se dá výroba FV článků rozdělit do tří hlavních skupin. Do první skupiny patří klasické krystalové křemíkové články s tloušťkou kolem 200 mikrometrů. Dále to jsou tenkovrstvé články, které mají vrstvy široké pouze několik mikrometrů. Poslední, a to nejnovější technologií jsou poté nanostrukturované články. Kompletní rozdělení článků lze vidět na obrázku 3-1.

Obr. 3-1 Rozdělení FV článků [1]



Největší podíl na trhu, a to více než 90 %, drží krystalové články, ovšem dá se předpokládat velký růst tenkovrstvých technologií.

3.1.1.1 Krystalický křemík

Pro výrobu FV článků je nejdůležitější prvek křemík. Tento prvek je druhý nejčastěji se vyskytující na Zemi. V přírodě se ovšem vyskytuje pouze jako sloučenina s kyslíkem ve formě křemene nebo písku. Kyslík je ovšem potřeba odstranit. Křemenný písek zahříváme v obloukových pecích za teploty 1800 °C až 1900 °C spolu s koksem, hnědým uhlím a uhelným prachem. Vzniká oxid uhelnatý a tzv. metalurgický křemík s čistotou kolem 98 %. Tato hodnota čistoty ovšem není dostačující, proto se křemík chemickými procesy dále čistí. Reaguje s plynným chlorovodíkem na vodík a trichlorsilan. Poté se v několika stupních destiluje, než dosáhneme požadované čistoty.

V současnosti se nejčistšího křemíku získává pomocí *Siemensovy* metody. Ta spočívá v nahánění vodíku a trichlorsilanu do reaktoru, kde se na tyče o teplotě 1000 °C až 1200 °C z velmi čistého křemíku vylučuje z trichlorsilanu právě křemík. Ten je polykrystalický a dosahuje čistoty 8 až 11 N, kde písmeno N označuje počet devítek při vyjádření v procentech. (např. čistota 5 N je rovna 99,999 %). Když tyče dosáhnou průměru 10 až 15 cm, tak se nalámou a jsou základem pro multikrystalické nebo monokrystalické křemíkové plátky.

Další metody výroby velmi čistého křemíku jsou poté uskutečněny například pomocí fluidačních reaktorů, kde jsou do reaktoru vháněny částice křemíku. Opět se vhání do reaktoru vodík s trichlorsilanem nebo silanem. Rozdíl můžeme vidět v teplotě, při které se křemík vylučuje. U trichlorsilanu to je kolem 1000 °C, naopak u silanu už při 700 °C. Křemík se vylučuje a vznikají čím dál větší částice, které padají na dno a zde se odeberou jako granulát.

Metoda s trubkovým reaktorem je obdobná jako Siemensova, ovšem místo tyčí se používají křemíkové duté válce, které stačí zahřát jen na 800 °C.

Pomocí metody VLD je křemík vylučován z plynného trichlorsilanu na grafitovou trubku s teplotou 1500 °C. Křemík odkapává na dno a formuje se granulát. Existují ještě další metody, které se mohou lišit podle potřeb výrobce. [1]

3.1.1.2 Monokrystalický křemík

U výroby monokrystalického křemíku je nejpoužívanější tzv. *Czochralského metoda*, při níž se polykrystalický křemík roztaví v křemenném kelímku při teplotě asi 1420 °C. Původní krystal se ponoří do taveniny z křemíku a postupně se vytahuje nahoru. Naroste přitom až na monokrystal s průměrem 30 cm a několikametrovou délkou.

Účinnost monokrystalického křemíku ve FV aplikacích se pohybuje od 15 do 19,3 %. Tvarování článků záleží na tom, jak a kolik monokrystalu se odřízne. Můžeme rozlišovat normální čtvercové, kulaté nebo pseudočtvercové články. Rozměry se pohybují od 10x10 cm do 15x15 cm u čtvercových a například u kulatých článků jsou průměry 12,5 nebo 15 cm.

Tloušťka článku se pohybuje od 0,14 mm do 0,3 mm a jeho barva je tmavě modrá až černá nebo šedá. Záleží na tom, zda se použije nebo nepoužije antireflexní vrstva. [1]

3.1.1.3 Tenkovrstvá technologie

Kolem 90. let minulého století se tenkovrstvé technologie pomalu vyskytují ve větším počtu při výrobě článků. Jde vlastně o nanesení fotoaktivního vodiče a kontaktů na nosný materiál (většinou sklo), pomocí chemického nebo fyzikálního odloučení plynného skupenství. Tloušťky vrstev dosahují hodnoty menší než 1 μm. Používané polovodičové materiály jako amorfní křemík (ASi) nebo teluricitan kademnatý (CdTe) ovšem výborně absorbují světlo, takže i tak tenká vrstva je postačující na přeměnu slunečního záření. Výrobní teploty od 200 °C do 600 °C, automatizace a také nízká spotřeba energie a materiálu dávají tomuto výrobnímu procesu velký potenciál.

Lze také bez omezení volit různé velikosti a výroba modulů a článků jsou na rozdíl od krystalického křemíku součástí jednoho výrobního kroku. Při samotné technologii výroby je prvním krokem naleptání skla. Poté se nanese vodivá vrstva oxidu kovu (TCO), nejčastěji to je oxid zinečnatý (ZnO₂) nebo oxid cíničitý (SnO₂). Poté se tato vrstva řeže laserem na proužky a jednotlivé vrstvy se od sebe navzájem odloučí. Laserem se článek strukturuje a na zadní stranu se naprašováním nanese kontakt. Na konec celého procesu laser řezem vyrobí interní propojení článků.

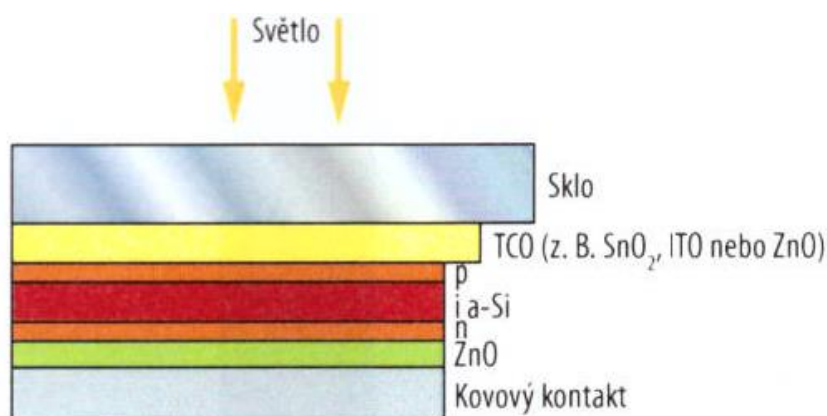
Účinnost většiny článků tohoto druhu zatím nedosahuje vysokých hodnot, ovšem už se objevují i typy s účinností kolem 18 %, což je podobné jako u krystalického křemíku. Využití difúzního světla je u tenkovrstvých článků lepší. [1]

3.1.1.4 Amorfnní křemík

Amorfnní křemík je základním zástupcem mezi tenkovrstvými technologiemi. První funkční článek byl vyvinut již v roce 1974. Jeho velkou výhodou byla výborná citlivost na umělé světlo, takže se začal používat v hodinkách nebo kalkulačkách.

Základní vlastností je, že tvoří neuspořádanou síť, což má za důvod, že se do otevřených vazeb dostává vodík. Výroba hydrogenizovaného vodíku probíhá chemickým odloučením plynného skupenství z plynného silanu (SiH_4) v plazmovém reaktoru. Plazma poté vzniká, když dostaneme vysokofrekvenční napětí do reaktoru. Teploty tohoto procesu jsou nízké (mezi $200\text{ }^\circ\text{C}$ a $250\text{ }^\circ\text{C}$), takže se může použít místo nosného skla i plastové nebo kovové fólie. [1]

Obr. 3-2 Struktura vrstev amorfnního článku [1]



Dotování amorfnního křemíku se provádí pomocí plynů, které obsahují požadované dotační prvky jako fosfor nebo bór. Takto obohacený křemík má ovšem krátkou difúzní délku, docházelo by k rychlé rekombinaci nosičů náboje, takže by byl nevhodný pro výrobu elektrické energie. Řešením je pomocí tzv. vlastní (i) vrstvy, která se zabuduje mezi vrstvy dotované příměsami typu P a N. Ve vlastní vrstvě dojde k absorpci světla a vytvoření náboje, v ostatních vrstvách se vytváří elektrické pole, které odděluje nosiče náboje. Tato třívrstvá struktura se nazývá pin struktura a je zobrazena na obrázku 3-2.

Pro čelní kontakty se využívají oxid zinečnatý nebo oxid cíničitý. Spodní vrstva s kontaktem poté působí jako reflektor. Vyrábějí se FV moduly třeba na plastových fóliích, které je poté možno integrovat do střech.

Díky efektu Staebler-Wronski dochází během prvního půl až celého roku k poklesu výkonu článku asi o 20 až 30 %, poté už se ustálí a dosahuje jmenovité hodnoty. Nízkou účinnost, kterou článek disponuje, lze navýšit přidáním více pin struktur tvořících tzv. tandemové články. Účinnost se zvedá díky tomu, že můžeme každý článek vyrobit do jiné barvy spektra přimícháním různých prvků (např. germania). Zvyšujeme také životnost článků.

Velikosti klasických modulů mohou dosahovat rozměrů až $2,6 \times 2,2$ m, účinnost modulů je, jak již bylo psáno velmi nízká, a to mezi 5 a 7 %. Tloušťka se pohybuje od jednotek mm pro netvrzené sklo, až po mikrometry. Barva tohoto druhů panelů může být červenohnědá až černá nebo také modrofialová. [1]

3.1.2 Elektrické vlastnosti

3.1.2.1 Veličiny FV článků

Pro pochopení a lepší orientaci si nejprve definujeme charakteristické veličiny nejčastěji definované u FV článků. Jejich přehled i popis lze vidět v tabulce 3-1.

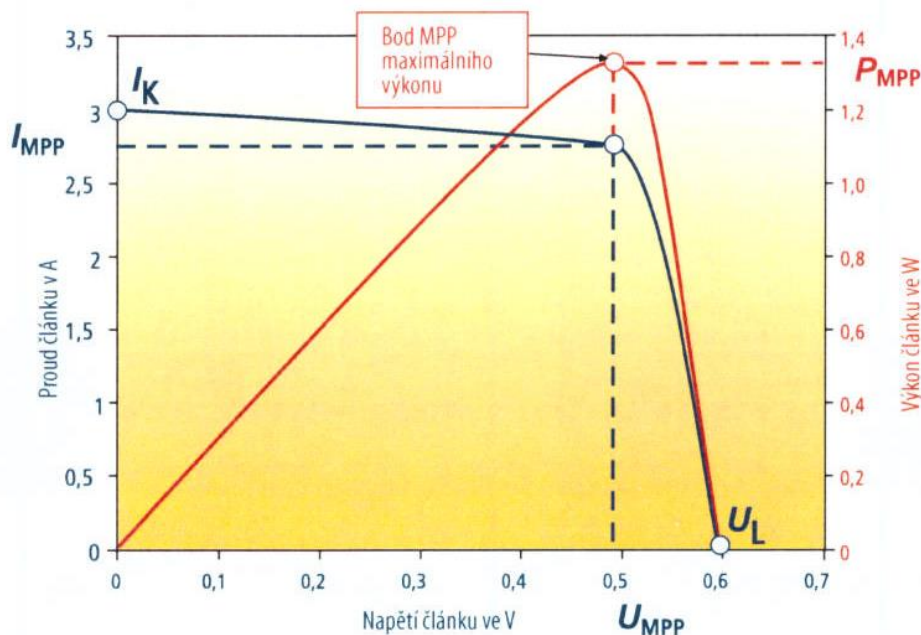
Tab. 3-1 Přehled charakteristických veličin FV článků [1]

	Veličina	Značka	Jednotka	Popis
Výkon	MPP výkon	P_{MPP}	(Wp)	Maximální výkon za STC (jmenovitý výkon)
	Účinnost	η	(%)	Poměr výkonu odevzdaného článkem ku solárnímu oslunění
	Faktor plnění	FF	(-)	Měřítka kvality FV článků
Napětí	MPP napětí	U_{MPP}	(V)	Napětí v bodě maximálního výkonu (jmenovité napětí)
	Napětí naprázdno	$U_L (U_{OC})$	(V)	Napětí naprázdno (při STC): Napětí, které dodává FV článek, když oba přípoje nejsou připojeny ke spotřebiči
Proud	MPP proud	I_{MPP}	(A)	Proud v bodě maximálního výkonu (jmenovitý proud)
	Proud nakrátko	$I_K (I_{SC})$	(A)	Proud nakrátko (při STC): Proud, který dodává FV článek, když oba přípoje připojeny přímo

3.1.2.2 Charakteristická křivka FV článků

Napětí naprázdno jednoho článku dosahuje u krystalického křemku kolem 0,6 V a lze změřit při dopadu světla na FV článek. Proud nakrátko změříme při zkratování obou kontaktů přes ampérmetr. Voltampérovou (ampérvoltovou) charakteristiku FV článku proměříme pomocí proměnného odporu. Výsledná charakteristika by v normálním provozním stavu měla tvarem odpovídat modré křivce na obrázku 3-3. Červená křivka poté znázorňuje výkonovou křivku FV článku.

Obr. 3-3 Charakteristická křivka krystalického křemíkového FV článku [1]



Hlavní body křivky:

1. Hodnoty s indexem MPP (Maximum Power Point) značí bod charakteristiky, kdy FV článek pracuje s maximálním výkonem. Jsou to hodnoty napětí, proud a výkonu (jednotka Watt peak).
2. Zkratový proud I_K (I_{sc}), který je obvykle o 5 až 15 % vyšší než při maximálním výkonu.
3. Napětí naprázdno U_L (U_{oc}), které se liší podle druhu FV článku. Pro krystalické články má hodnotu 0,5 - 0,6 V, pro amorfni v mezích 0,6 až 0,9 V. [1]

3.1.2.3 Podmínky STC

Důležité pro porovnávání jednotlivých typů článků je definovat jednotné podmínky, při nichž se článku proměří jeho charakteristická křivka. Zkratkou se označují STC (standard test condition), v překladu standardní testovací podmínky.

Tyto tři podmínky podle normy EN 60904 jsou:

1. Kolmá intenzita slunečního záření E by měla být rovna 1000 W/m^2
2. Teplota článku by měla být $(25 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$
3. Definované spektrum světla Air Mass $AM = 1,5$ [1]

3.1.3 Porovnání účinností FV článků

Tab. 3-2 Porovnání maximálních účinností různých druhů fotovoltaických článků [1]

Materiál solárního článku	Účinnost článku η_z (laboratoř)	Účinnost článku η_z (výroba)	Účinnost modulu η_M (sériová výroba)
Tandemové články (polovodič typu III-V) s koncentrátorem	42,8 % *	36,0 %	30,0 %
Monokrystalický křemík (FZ)	25,0 %	22,4 %	20,4 %
Polykrystalický křemík	18,5 %	17,5 %	16,6 %
Monokrystalický křemík (Cz)	25,0 %	19,3 %	17,0 %
Hybridní křemíkový článek (HIT)	23,0 %	21,6 %	19,0 %
Polykrystalický křemík	20,4 %	17,1 %	16,0 %
Tažený křemíkový pás	19,7 %	15,0 %	14,1 %
CIS	20,3 %	17,3 %	14,5 %
CdTe	16,7 %	14,4 %	13,5 %
Mikrokrystalický křemík	15,2 %	13,0 %	7,6 %
Nanočlánky CIS	14,0 %	12,0 %	11,0 %
Amorfni křemík**	13,2 %	10,5 %	7,5 %
Mikromorfni křemík**	13,0 %	12,5 %	11,2 %
Barvivem senzitivovaný článek	12,0 %	7 %	5 % ***
Plastový solární článek	10,7 %	6 %	5 %

*měřeno pro koncentrované oslunění

**stabilizovaný stav

***malá série

3.2 Střídače

Střídače se používají jako propojovací člen mezi FV panelem a rozvodnou sítí. Podle použití můžeme rozlišit střídače pro ostrovní použití nebo v systémech zapojených do sítě. Lze také zkombinovat tyto dvě možnosti, což představuje tzv. hybridní střídač.

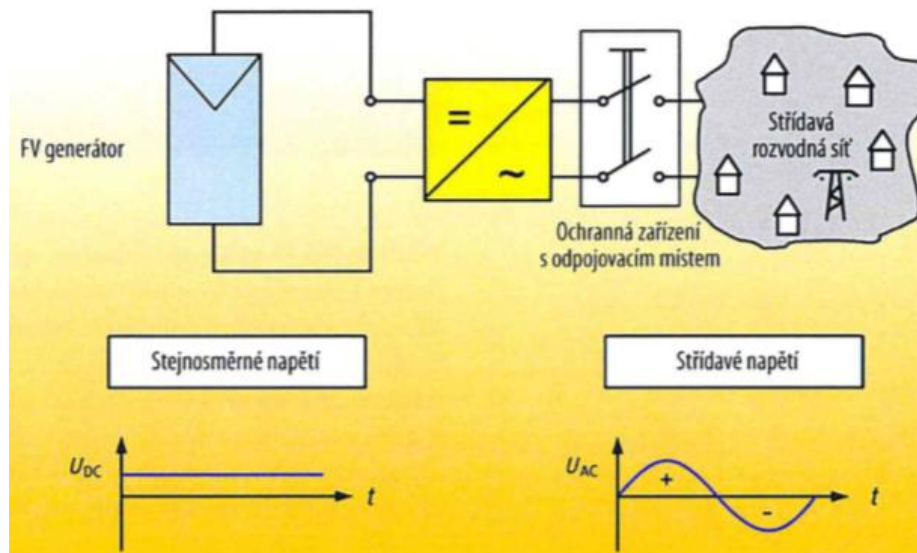
3.2.1 Princip funkce a rozdělení

Hlavní úlohou je přeměna stejnosměrného proudu (DC) na proud střídavý (AC). Často se nazývá také DC-AC konvertor nebo invertor. Další funkcí je přizpůsobení pracovního bodu na bod maximálního výkonu. Dále slouží také ke sběru dat a signalizaci. Další funkcí je ochrana sítě a její řízení pomocí automatické redukce činného výkonu nebo výroby jalového výkonu. Podle různé aplikace můžeme střídače použít v systémech zapojených na síť nebo také v ostrovních systémech.

Síťové střídače jsou napojeny buď přes domovní rozvod nebo přímo do veřejné rozvodné sítě. Při zapojení přes domovní rozvod se nejprve vyrobený proud spotřebuje na potřeby objektu až poté jdou přebytky do sítě. Tyto typy střídačů se označují jako *hybridní*. Do 5 kW_p se rozvádí jednofázově, pro větší instalace poté třífázově. Třífázové střídače obsahuje šesti pulzní můstky, které rovnoměrně rozdělují zatížení do všech tří fází, čímž se dosahuje vysoké účinnosti.

To, aby střídač pracoval optimálně, zajišťuje tzv. MPP-tracker (Maximum power point-tracker), který zajišťuje přizpůsobení na příslušný bod maximálního výkonu. Tato regulace probíhá přes výkonový můstek nebo přes elektronicky řízený měnič stejnosměrného napětí. [1]

Obr. 3-4 Princip funkce síťového střídače a jeho zapojení [1]



U *ostrovního systému* se rozvod elektřiny do spotřebičů a akumulace energie do akumulátorů děje stejnosměrným proudem. Pro provoz spotřebičů na střídavý proud o napětí 230 V, je potřeba právě ostrovního střídače.

Základní požadavky:

- sinusový průběh proudu se stabilním napětím a frekvencí
- výborná účinnost přeměny i v době dočasného přetížení
- odolnost proti přetížení při náběhu
- malý počet vyšších harmonických
- velmi dobré odrušení
- možnost přeměny střídavého proudu na stejnosměrný z důvodu potřeby napájení akumulátorů
- ochrana před zvýšeným napětím

U vyšších systémů je také potřeba umět regulovat jalový výkon, napětí a frekvenci, odpojování a připojování spotřebičů a dodatečných zdrojů proudu, a také schopnost komunikace s dalšími střídači. Z dvou typů těchto střídačů vyhovuje nejlépe požadavkům *sinusový* střídač. Funguje na principu pulsně šířkové modulace a je málo odolný proti přetížení. Je výhodný zejména pro provozování motorů. [1]

3.2.2 Autonomní střídače

U autonomních střídačů se používají spínací polovodičové prvky v můstkovém zapojení. Podle výkonu systému můžeme použít bipolární tranzistory, tranzistory řízené polem MOSFET a JFET nebo bipolární tranzistory IGBT (s izolovaným hradlem).

Rychlým vypínáním a zapínáním se formují impulsy, které odpovídají sinusové křivce. Po vyhlazení připojeným filtrem se dosáhne souladu se sinusovým průběhem v síti. Pro omezení vyšších harmonických je potřeba použít výstupní filtry a kompenzační zařízení. Je nutné také u některých typů použít stínění přístrojů kvůli vysoké spínací frekvenci, která způsobuje rušení.

Autonomní střídače jsou dobré pro použití v ostrovních systémech. Pro zapojení do sítě je nutné, aby byl kmitočet proudu synchronizován s frekvencí sítě. [1]

3.2.2.1 Střídače s NF transformátorem

Nízkofrekvenční transformátory na 50 Hz se používají pro přizpůsobení k síti. Mají galvanicky odděleny stejnosměrný a střídavý okruh pomocí magnetického pole transformátoru. Střídač je složen ze spínacího regulátoru, úplného můstku, regulátoru MPP, síťového transformátoru a logiky s monitorováním sítě.

Výhodou je možnost provedení s nízkým ochranným napětím díky galvanickému oddělení, není nutná kompenzace, a také elektromagneticky neruší. Nevýhodou je ovšem, že dochází ke ztrátám výkonu (už se vyrábějí i typy s menšími ztrátami), poté také vysoká cena a rozměry. Proto je snaha transformátory zmenšovat nebo je nepoužívat. [1]

3.2.2.2 Střídače s VF transformátorem

Narozdíl od NF transformátoru pracují vysokofrekvenční transformátory s kmitočty 10 až 100 kHz, jsou menších rozměrů, cenově výhodnější a vznikají v nich nepatrné ztráty. To ovšem kompenzuje vyšší cena za stínění a zapojení.

Princip spočívá v přeměně stejnosměrného napětí pomocí VF můstku na střídavé napětí o vysoké frekvenci, které se poté přemění na 230 V pomocí VF transformátoru. K vyhlazení proudu slouží filtry. Pro zvýšení účinnosti přístrojů se může použít více VF transformátorů, každý pro různý interval napětí. Při zvýšení ztrát díky napětí se vždycky přepne transformátor optimalizovaný na daný napěťový interval.

AC a DC strana jsou od sebe v tomto typu střídače opět galvanicky odděleny, takže může být používán i v modulech, kde musí být jeden pól uzemněn. [1]

3.2.2.3 Střídače bez transformátoru

Použitím střídače bez transformátoru se velice zmenší ztráty, velikost, hmotnost i cena. Dosahují také nejvyšší účinnosti, takže se čím dál více prosazují.

Napětí FV generátoru se může přizpůsobit pomocí zvyšovacích odvodů DC/DC, aby bylo značně vyšší než vrcholová hodnota síťového napětí. Jako ochrana nesmí být použity klasické proudové chrániče na 30 mA, jelikož je možnost, že i při normálním provozu budou přes FV modul protékat do země kapacitní svodové proudy vyšší, než je tato hodnota.

Bohužel zde chybí galvanické oddělení, takže je okolí střídače silněji elektromagneticky ovlivňováno. Toto pole už je často eliminováno díky použitím speciální obvodové techniky (např. „flying inductor circuit“). Chybějící galvanické oddělení také klade zvýšené bezpečnostní požadavky na dimenzování.

Střídače bez transformátorů ovšem nelze použít ve všech FV modulech. U některých tenkovrstvých nebo amorfních modulů byla zaznamenána vysoká degradace, která vedla až k výpadku modulů. Bylo to způsobeno poškozenými kontakty TCO. I u krystalických modulů je nebezpečí výkonové degradace a zmenšení výnosů kvůli indukovaným potenciálům. Je proto třeba

uzemnit záporný (kladný) pól generátoru FV, záleží na typu modulů. Dalším omezením způsobeným díky použití střídače bez transformátoru je také maximální provozní napětí do 600 V. Proto se používají moduly se zvyšujícím regulátorem. [1]

3.2.3 Parametry střídačů

Pro střídač je nejdůležitějším parametrem účinnost. V následujících podkapitolách jsou tyto veličiny popsány a vysvětleny.

3.2.3.1 Účinnost přeměny

Tato veličina určuje účinnost přeměny stejnosměrného proudu na střídavý. Ztráty jsou většinou způsobeny na transformátoru, výkonovém spínači nebo vlastní spotřebou na regulaci řízení. Závisí velmi na vstupním výkonu. [1]

Matematické vyjádření:

$$\eta_{UM} = \frac{P_{AC} \text{ činný vstupní výkon}}{P_{DC} \text{ činný výstupní výkon}} \quad (3.1)$$

3.2.3.2 Účinnost přizpůsobení

V minulosti byl pracovní bod střídače nastaven fixně na jednu hodnotu napětí, což ovšem nebylo nejlepší řešení. V současnosti je střídač optimálně přizpůsoben na charakteristiku FV panelu během dne, nastaví si pracovní bod a celou dobu ho sleduje (MPP-tracking). Účinnost přizpůsobení určuje právě kvalitu přizpůsobení střídače k optimálnímu pracovnímu bodu neboli bodu maximálního výkonu (MPP) v průběhu dne.

Rychlost regulace sledování bodu maximálního výkonu určuje využití jednotlivých špiček v dnech, kdy je přechodná oblačnost. [1]

$$\eta_{AN} = \frac{P_{AC} \text{ okamžitý činný vstupní výkon}}{P_{DC} \text{ maximální okamžitý výkon generátoru}} \quad (3.2)$$

3.2.3.3 Statický stupeň účinnosti

Statický stupeň účinnosti je součin účinnosti přeměny a přizpůsobení produktu:

$$\eta_{WR} = \eta_{UM} \cdot \eta_{AN} \quad (3.3)$$

Údaje v katalogu udávají většinou maximální účinnost při jmenovitém napětí. Charakteristiky účinností jsou ovšem určovány pro rozdílné výkony FV a tím pádem i pro rozdílné zátěže. [1]

3.2.3.4 Evropská účinnost

Pro usnadnění porovnání různých střídačů se zavedla evropská účinnost. Představuje dynamický stupeň účinnosti pro středoevropské klima. Kvůli tomu, že se zatížení velice mění, použije se 6 účinností pro rozdílný výkon:

$$\eta_{EURO} = 0,03 \cdot \eta_{5\%} + 0,06 \cdot \eta_{10\%} + 0,13 \cdot \eta_{20\%} + 0,1 \cdot \eta_{30\%} + 0,48 \cdot \eta_{50\%} + 0,2 \cdot \eta_{100\%} \quad (3.4)$$

Tedy zatížení střídače na 100 % bude při 20 % provozní doby (poslední výraz rovnice 3.4), 50% zatížení střídače bude po 48 % provozní doby a tak dále. Většina energie je v Evropě vyráběna ve středním rozsahu výkonů FV generátoru. [1]

Střídače mají v současnosti Euro účinnosti 92 až 98,5 %. Výrobci většinou uvádějí tuto účinnost pro jmenovité napětí, kde je účinnost nejvyšší. Ovšem normální provoz zahrnuje jiný napěťový rozsah. Proto by podle normy IEC 61683 „Postupy pro měření účinnosti proudových střídačů ve fotovoltaických systémech“ mělo probíhat měření účinnosti při teplotě $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ a měly by se zaznamenávat 3 napětí:

- minimální vstupní napětí U_{MPPmin}
- jmenovité napětí U_{MPPn}
- 90 % maximálního vstupního napětí U_{MPPmax}

Vzorec poté bude vypadat trochu jinak: [1]

$$\eta_{Euro+} = \frac{1}{3} \cdot \sum_3^1 (0,03 \cdot \eta_{5\%} + 0,06 \cdot \eta_{10\%} + 0,13 \cdot \eta_{20\%} + 0,1 \cdot \eta_{30\%} + 0,48 \cdot \eta_{50\%} + 0,2 \cdot \eta_{100\%})_{U_i} \quad (3.5)$$

3.2.3.5 Kalifornský stupeň účinnosti

Tento stupeň účinnosti vznikl v Americe z důvodu, že se zde typicky dosahuje vyššího ozáření na metr čtvereční než v Evropě. Proto je ve vzorci také zahrnuta hodnota 75 % zatížení střídače, která je zde zastoupena nejvíce. Opět se určuje pro 3 napětí U_{MPPmin} , U_{MPPn} a U_{MPPmax} .

$$\eta_{CEC} = \frac{1}{3} \cdot \sum_3^1 (0,04 \cdot \eta_{10\%} + 0,05 \cdot \eta_{20\%} + 0,12 \cdot \eta_{30\%} + 0,21 \cdot \eta_{50\%} + 0,53 \cdot \eta_{75\%} + 0,05 \cdot \eta_{100\%})_{U_i} \quad (3.6)$$

Mezi evropskou a kalifornskou účinností jsou rozdíly u současných střídačů kolem půl procenta. [1]

3.3 Akumulátory

Poslední dobou se velmi často instalace FVE doplňuje o akumulátory, a to hlavně díky stoupajícímu podílu proměnlivých zdrojů elektrické energie, jako je právě energie sluneční nebo větrná. Je to v současnosti hlavní téma a pro budoucnost fotovoltaiky velmi důležité. Akumulátory dokáží uchovat energii v době, kdy by se v objektu nedokázala spotřebovat, a v době menší výroby ji poté dokáží využít. Objekt je tedy soběstačný a dokáže fungovat v ostrovním režimu.

U ostrovních systému se nejčastěji používají olovené akumulátory, které jsou nejvýhodnější z hlediska poměru cena-výkon a dokáží zpracovávat malé i velké nabíjecí proudy, a přitom si zachovat vysokou účinnost. Na paty jim ale šlapou lithium iontové akumulátory, které jsou zatím dražší, ale při dalším poklesu cen se dá očekávat, že právě olovené akumulátory nahradí na trhu. Dalšími typy jsou například nikl kadmiové a hybridní kovové akumulátory, které ale u fotovoltaiky nemají žádné uplatnění. [1]

3.3.1 Olověné akumulátory

Tento typ akumulátorů se skládá z několika článků se jmenovitým napětím 2 V. Často jsou uloženy spolu v pouzdru a sériově propojeny do bloku. Pro příklad třeba akumulátor s napětím 12 V je poskládán z šesti článků o napětí 2 V. U větších napětí je každý článek většinou zvlášť a propojení proběhne až na místě.

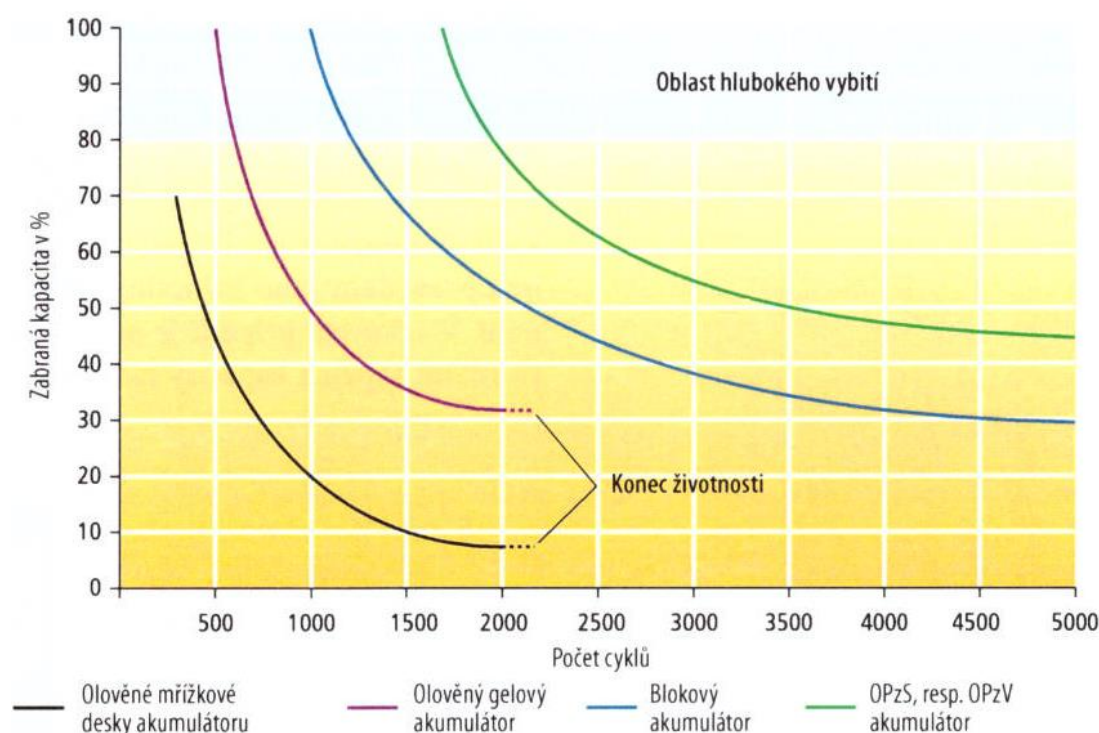
Olověný akumulátorový článek se skládá z nádoby, která je naplněna zředěná kyselina sírová (H_2SO_4) jako elektrolyt. Do kyseliny sírové jsou ponořeny dvě sady elektrod, které se skládají z aktivního materiálu a olověné mřížky. Právě aktivní materiál je zásobník energie a na jeho ploše dochází k elektrochemické reakci. Když je akumulátor nabitý, tak aktivní hmota kladné elektrody je tvořena z oxidu olovnatého (PbO_2), naopak u záporné elektrody je čistě z olova. Důležité jsou také separátory, které slouží k izolaci záporné a kladné elektrody.

Samotnou reakci mezi deskami a kyselinou sírovou způsobují elektrony, které při odběru proudu tečou směrem od záporného proudu ke kladnému pólu. Na aktivní materiál se navazuje síra, takže na obou deskách vzniká síran olovnatý (PbSO_4). Při vybíjení se spotřebuje elektrolyt, tím také klesá jeho koncentrace. Díky změření hustoty elektrolytu můžeme kontrolovat stav nabití nebo vybití akumulátoru. [1]

Pro správné a účinné využití akumulátoru je nutné také správné zatěžování. Při nabíjení vyšším napětím, než je napětí akumulátoru dojde k pohybu elektronů opačným směrem, a to od kladného pólu k zápornému. Tato reakce ovšem už není vratná v celé míře, protože určité množství PbSO_4 se již nedokáže přeměnit zpátky a dochází k tzv. sulfataci. Při každém takovém nabíjení nebo vybíjení se tedy kapacita akumulátoru zmenšuje o určitý díl, který závisí také na hloubce vybití. Proto je dobré provozovat akumulátor s malými odběry, čímž se zvýší nejen životnost, ale také počet cyklů používání. Když dosáhne kapacita akumulátoru ve vybitém stavu 80 % jmenovité kapacity, tak je další používání akumulátoru nedoporučeno, jelikož hrozí náhlý výpadek.

Na obrázku 3-5 níže jsou grafy, kde jsou počty znázorněny počty cyklů pro různé typy olověných akumulátorů. Tyto typy budou na následujících stranách detailněji popsány.

Obr. 3-5 Životnost a hloubka vybití různých druhů akumulátorů [1]



3.3.1.1 Olověné mřížkové akumulátory s kapalným elektrolytem

Tento typ je nejčastěji vyráběným typem, jelikož je používán jako startovací baterie. Mřížkové desky se mohou vyrábět velmi levně, jelikož aktivní materiál na ně můžeme natřít ve formě pasty. Důležitou otázkou je, jestli lze použít klasický startovací akumulátor jako uložení energie také do fotovoltaického systému. Odpověď je samozřejmě ne. Je totiž sice uzpůsoben na krátkodobý vysoký proud, ovšem tato výhoda jde ruku v ruce se snížením počtů cyklů, takže při cyklickém solárním provozu by byl již po několika dnech při provozu s 50% hloubkou vybití nepoužitelný.

FV akumulátory jsou tedy kvůli požadavku a velkému počtu cyklů konstruovány se silnějšími deskami, a také mřížka je vyztužena antimonem. Další změnou je také menší obsah kyseliny v elektrolytu pro zmenšení vlastní koroze a zvýšení životnosti.

Důležitým parametrem pro kapacitu akumulátoru je také okolní teplota. Pro snížení z 20 °C na 0 °C klesne například kapacita až o 25 %. Z obrázku 3-3 lze vidět, že při hloubce vybití 70 % je životnost pouze 300 cyklů, naopak třeba při hloubce vybití 20 % to je 1000 cyklů. Většinou nedochází při správném dimenzování k vybití ani na 50 %. [1]

3.3.1.2 Olověné gelové akumulátory

Představuje další typ olověného akumulátoru. Liší se tím, že místo tekutého elektrolytu se kyselina zhuští gelem. Výhody tohoto typu jsou:

- vyšší odolnost vůči cyklům
- jenom nepatrná sulfatace
- minimální potřeba ventilace (není zde tvorba plynů)
- bez údržby, jelikož není potřeba během provozu doplňovat elektrolyt

Na rozdíl od akumulátorů s kapalným elektrolytem jsou v uzavřeném provedení, pouze s ventily pro upuštění tlaku v případě přehřetí. Je zde potřeba regulátoru nabíjení, aby nedošlo

k tvorbě plynů a vysušení akumulátoru. Hladinu nabití lze zjistit jen pomocí měření napětí naprázdno, nelze totiž zjistit hustotu elektrolytu.

Z obrázku opět můžeme vysledovat charakteristiku akumulátoru. Můžeme vidět, že na rozdíl od předchozího typu, gelový akumulátor dosahuje při 50% vybití 1000 cyklů. Pro praxi můžeme počítat s hloubkou vybití 30 %, kde dojdeme k závěru, že gelový akumulátor vydrží 2000 cyklů, naopak akumulátor s kapalným elektrolytem pouze 700 cyklů. Obecně mají gelové akumulátory větší životnost než akumulátory s kapalným elektrolytem, ovšem jsou také dražší. [1]

3.3.1.3 Stacionární pancéřové deskové akumulátory

Stacionární akumulátory jsou dobré pro trvalý provoz nad 15 až 20 let a využívání po celý rok u větších FVE. Nevýhodou jsou ovšem až 3x větší pořizovací náklady a velká hmotnost a objem. Existují celkem dvě různé možnosti, jak technologicky provést tento akumulátor. První možnost je uzavřený akumulátor s kapalným elektrolytem a speciálními separátory (OPzS), druhá je uzavřený akumulátor s gelovým elektrolytem (OPzV). Údržba typu OPzS se pohybuje mezi půl a 3 roky, naopak typ OPzV jsou bezúdržbové. Pro fotovoltaiku nejsou vyráběny nějaké speciální prototypy, ovšem za léta praxe už jsou známé typy, které vyhovují právě pro použití do ostrovních systémů.

Odlišnost od klasických akumulátorů je taková, že kladné elektrody jsou v provedení pancéřových desek. Výhodou tohoto provedení je odolnost proti cyklům akumulátorů a také vysoká stabilita. Z obrázku můžeme vidět, že životnost těchto druhů akumulátorů je mnohem vyšší než u klasických olověných akumulátorů. Například při hloubce vybití 55 % je životnost akumulátorů rovna 5000 cyklů, což je 10x více než u klasických olověných.

Mezi stacionární typ akumulátorů patří také *blokové akumulátory s tekutým elektrolytem*. Provedení se liší tím, že kladné elektrody jsou tvořeny prutovými deskami, čímž klesá cena výroby, ovšem i tak mají delší životnost než mřížkové desky. Mají velkou odolnost jak vůči zkratovým proudům, tak také proti hloubce vybití. Z obrázku lze opět vyčíst, že například při hloubce vybití 50 % dosahují životnosti 2100 cyklů. Blokové akumulátory mají časté použití u fotovoltaických zařízení díky tomu, že se i při malých proudech mohou nabíjet a dosahují účinnosti v rozmezí 95 až 98 %. [1]

3.3.1.4 Parametry a provozní vlastnosti akumulátorů

Pro správné dimenzování je důležitá znalost parametrů a vlastností akumulátorů.

Kapacita

Kapacita C je elektrická energie, kterou lze z akumulátoru odebrat při určitých podmínkách. Je definována jako součin proudu, kterým vybíjíme a časem vybíjení.

Jmenovitá kapacita není dána jen geometrickým tvarem, počtem zapojených článků. Je závislá také na teplotě okolí, napětí po vybíjení, a hlavně na vybíjecím proudu. Při pomalém vybíjení se může odebrat více proudu než při rychlém vybíjení velkým proudem. Pro příklad můžeme uvést, že při vybíjení 10 hodin velkým proudem (8 A) může být dosaženo kapacity jen 80 Ah, naopak při vybíjení po dobu 100 hodin proudem 1 A je dosažitelná kapacita rovna 100 Ah. A právě pro hodnotu 100 hodin jsou dimenzovány kapacity pro solární akumulátory. [1]

Proud

Také proud se uvádí v závislosti na době vybíjení nebo nabíjení. Při vybíjení je proud závislý na zátěži, při nabíjení je proud vyroben ve FV generátoru. [1]

Napětí

Jak je známo, napětí u olověných akumulátorů je 2 V na jeden článek. Podle celkového napětí akumulátoru je to tedy nejčastěji v sérii zapojených 6 (12 V) nebo 12 článků (24 V). Stacionární akumulátory jsou většinou nabízeny jako samostatné články. Pro bezpečný chod akumulátoru jsou stanoveny dvě meze (horní a dolní), které se nesmí překročit. Hodnoty napětí jednoho článku jsou podle stavu nabití/vybití mezi 1,96 V a 2,12 V. [1]

Nabíjení a vybíjení

Během nabíjení může napětí akumulátoru dosáhnout hodnoty, kdy začne probíhat rozkladem vody na vodík a kyslík tvořící vysoce výbušný plyn. Je tedy důležité zajistit, aby akumulátor tuto určitou hodnotu napětí nepřesáhnul, jelikož by došlo k jeho poškození. K tomu slouží regulátor nabíjení v rámci bateriového systému, který počítá také s teplotou, jelikož i na ní je napětí závislé.

Akumulátory používané ve FV instalacích jsou nejčastěji v režimu nabíjení přes den a vybíjení přes noc. Vzhledem k různým ročním obdobím a slunečním podmínkám během dne, by se měl regulátor nastavit tak, aby napětí nepřekročilo mezní hodnotu 2,4 V na jeden článek. Velká závislost je také, jak již bylo zmiňováno, na teplotě okolí, kde při teplotě $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ v zimě je nabíjecí napětí kolem 2,5 V, naopak při jarních teplotách kolem $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ se pohybuje kolem 2,3 V. S rostoucí teplotou tedy toto napětí klesá.

Při vybíjení je také důležité neklesnout pod stanovenou mez, aby nedošlo k sulfataci, kdy koncentrace kyseliny silně klesne. Tento stav se nazývá hluboké vybití a je potřeba mu zabránit. [1]

Stav nabití

Stav nabití je definován jako aktuálně dostupný podíl kapacity akumulátoru. U akumulátorů s kapalným elektrolytem lze tento stav zjistit pomocí hustoměru, kde hustota elektrolytu je úměrná stavu nabití. U olověného akumulátoru napětí 1,96 V odpovídá hustotě kyseliny $1,10\text{ g/cm}^3$, a to se rovná vybitému akumulátoru. Hustota $1,28\text{ g/cm}^3$ poté odpovídá napětí 2,12 V a 100% nabití akumulátoru.

U akumulátorů s gelovým elektrolytem se stav nabití dá určit pomocí měření napětí, kdy akumulátor musí být před měřením alespoň 4 hodiny ve stavu naprázdno. Toto měření je ovšem nepřesné vzhledem k tomu, že na napětí má vliv také stáří akumulátoru. U větších zařízení se doporučuje zapojit voltmetr pro měření napětí a také ampérmetr pro měření nabíjecího i vybíjecího proudu. [1]

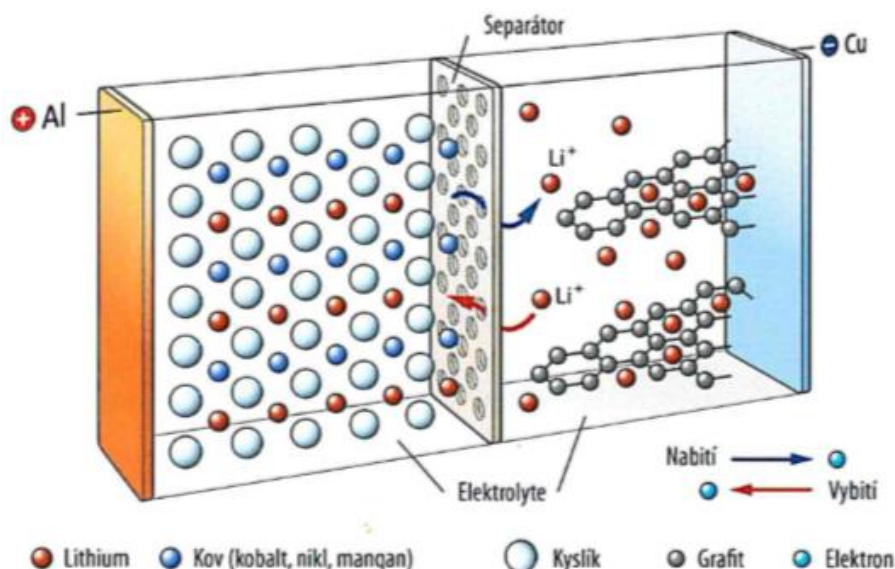
3.3.2 Lithium-iontové akumulátory

Lithium-iontové akumulátory mají oproti olověným akumulátorům mnoho výhod. Nejvíce se pro použití u fotovoltaických systémů cení vysokého počtu cyklů a také velká kapacity při větší hloubce vybití. Podle výrobců by tento typ měl představovat bezúdržbové akumulátory s životností až 20 let, ovšem všechny tyto odhady ještě nejsou podloženy léty praxe. [1]

3.3.2.1 Princip a konstrukce

Na obrázku 3-6 lze vidět konstrukci lithium-iontových článků. Záporný pól se skládá z grafitu a kladný pól (anoda) je složen z oxidu kovu lithia. Elektrolyt je složen ze solí lithia s fluorem a z organických rozpouštědel. Separátor chrání před vnitřními zkraty, a zároveň propouští ionty. Jelikož se parametry mohou měnit různou použitou chemií, označení lithium-iontový akumulátor je určeno pro všechny typy akumulátorů, které obsahují lithium.

Obr. 3-6 Konstrukce a princip funkce lithium-iontových článků [1]



Při vybíjení akumulátoru lithiové atomy odevzdají na anodě vždycky po jednom elektronu, které poté doputuje až ke katodě. Stejně tečou volné ionty také od anody ke katodě. Na straně katody přitom zůstává lithium jako iont. Lithiové elektrony si vezmou silně ionizované ionty přechodových kovů. Při nabíjení poté probíhá reakce opačným směrem.

3.3.2.2 Vlastnosti

Jak již bylo napsáno v úvodním odstavci, oproti oloveným akumulátorům, lithium iontové mají mnohem větší počet cyklů, a to až 10 000. Samovybíjení je menší až o 80 %. Jedinou menší nevýhodou je hluboké vybití, které dosahuje jen 70 % z celkové kapacity. Z tohoto důvodu zde je důležitý BMS neboli systém bateriového managementu, který sleduje napětí na jednotlivých člancích a hlídá, aby se akumulátor nedostal do oblasti hlubokého vybití. Je také provázán přes teplotu. [1]

Mezi výhody lithium iontových akumulátorů patří:

- vysoká měrná energie a měrný výkon
- malé samovybíjení
- vyšší napětí článků
- bezúdržbovost
- vysoký počet cyklů
- vyšší účinnost nabíjení

Naopak mezi nevýhody jsou:

- vyšší náklady a vysoké požadavky na bezpečnost
- nezbytný teplotní a bateriový management pro stabilitu akumulátoru

Z hlediska zásob lithia, bylo v roce 2010 využito na výrobu baterií asi 23 %. V roce 2020 se počítá s hodnotou 40 %. Největší zásobárny lithia (přes 50 %) leží v Jižní Americe, další jsou poté v Severní Americe, a také v Africe nebo Číně. Kolem 50 milionů tun ekvivalentu karbonu lithia (LCE) je v lidských silách vytěžit. Pro představu na kapacitu 1 kWh akumulátoru se spotřebuje kolem 0,4 až 0,8 kg LCE (Čistého lithia mezi 80 až 150 g). Nehrozí tedy v blízkém horizontu nedostatek této suroviny. [1]

3.3.2.3 Náklady a hospodárnost

Akumulátory hrají poslední dobou stále větší roli hlavně pro využití pro vlastní spotřebu, čímž je v případě výpadku sítě možnost ostrovního režimu. Při návrhu je dobré brát v potaz údaje o maximální hloubce vybití, aby nedocházelo k poklesu celkového počtu cyklů akumulátoru. Stupeň účinnosti by se měl vzít také v potaz, jelikož některé akumulátory jsou nabíjeny přímo stejnosměrným proudem z FV generátoru, naopak jiné typy jsou nabíjeny střídavým proudem přes měnič a poté jej opět přeměňují na stejnosměrný proud. Díky tomu dochází k poklesu účinnosti.

Díky poklesu cen za uloženou kapacitu během posledních roků a také dotačním programům, které berou akumulátory v potaz, je v těchto systémech velký potenciál a jeho využívání bude postupně čím dál tím víc atraktivní. [1]

3.3.3 Battery Management System (BMS)

Bateriový management (BMS) obecně monitoruje parametry akumulátoru a jedná, aby jej uchránil od degradace. To znamená i bezpečné nabíjení nebo vybíjení akumulátorů a zásobování zátěže. Akumulátory jsou tím tedy chráněny před rychlou degradací, kterou by způsobilo přebíjení nebo vybití a zvyšuje se jejich životnost. BMS je většinou softwarová funkce interní k regulátoru nabíjení nebo jiného sofistikovanějšímu nabíjecímu zařízení.

Tento systém je nezbytný zejména u lithium-iontových baterií, protože je zde větší nebezpečí v důsledku zvýšené teploty. Zajišťuje také monitoring napětí jednoho článku baterie a při překročení stavu nabití/vybití tento stav také signalizuje. Může také řídit střídač a nabíječ baterií. BMS často vizuálně vypisuje všechny veličiny a parametry baterie na displeji, takže lze přehledně vidět, jakých hodnot pro určité veličiny akumulátor dosahuje.

U ostatních typů akumulátorů není jeho použití esenciální, protože zde není takové nebezpečí z teplotního hlediska a střídač většinou zvládá nabíjecí režimy. [3]

4 DOTAČNÍ PROGRAMY

Fotovoltaické elektrárny zažily v České republice velký rozvoj přibližně před 10 lety, kdy se na jejich výstavbu začaly nabízet dotace, které mnoho zájemců přesvědčily, aby do FVE investovali peníze. Od té doby bylo započato několik dotačních programů jako například *Zelená úsporám* nebo na něj navazující *Nová zelená úsporám*.

V této diplomové práci se jimi nebudeme nějak detailněji zabývat. Podrobněji si popíšeme dotační program Operačního programu Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost, zkráceně OPPIK. Právě v rámci něj je poskytnuta dotační podpora této fotovoltaické elektrárně.

4.1 Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost - OPPIK (2014-2020)

Tento operační program poskytuje dotace na rozvoj podniků menších a středních rozměrů. Jde například o nové stroje, rekonstrukce výrobních hal nebo administrativních budov nebo na výzkum a vývoj nových technologií.

Obecně je tento program rozdělen do čtyř oblastí, tzv. prioritních os a dále se dělí na 25 dotačních programů. V rámci těchto dotací by v letech 2014-2020 mělo být rozděleno celkem 120 mld. korun od Evropské unie mezi české podnikatele. Proces zpracování projektu trvá jeden až dva roky, jelikož se musí podávat v plném znění, což zabere hodně času. Většinou je ovšem příjem žádostí ukončen již po 5 dnech, jelikož je kapacita zaplněna. Je tedy dobré začít s prací na projektu ještě před vyhlášením výzvy. [4]

4.1.1 FV systémy s/bez akumulace pro vlastní spotřebu

V rámci OPPIK se budeme zabývat výzvou I. Programu podpory Úspory energie, který se týká jak FV systémů s akumulací energie pro vlastní spotřebu, tak i bez akumulace. Právě v rámci této výzvy byla pro FVE ve Zlíně podána žádost o dotační podporu.

Vyhlášení této výzvy, stejně jako začátek přijímání žádostí, bylo 16. 6. 2017, datum ukončení poté 16. 10. 2017. Jako cíl byla stanovena podpora ke snížení konečné spotřeby energie, která je pro Českou republiku stanovena ve výši 14,075 TWh do roku 2020. Toto číslo je stanoveno směrnicí Evropského parlamentu Rady 2012/27/EU o energetické účinnosti. [5]

4.1.1.1 Podporované typy institucí

Jsou samozřejmě pevně dány podmínky, které musí daná firma splnit, aby se o finanční podporu mohla ucházet. Většina nejdůležitějších podmínek budou vypsána níže.

Nejdůležitější je si uvědomit, pro jaké FVE instalace je tato podpora určena. Jedná se o FVE s nebo bez akumulace pro vlastní spotřebu podniku. Důležitým bodem je také to, že celkový instalovaný výkon dané elektrárny nesmí překročit 1 MWp a panely musí být umístěny na střeše nebo obvodních stěnách budovy nebo budov. Pro akumulaci musí platit, že kapacita bateriového uložení nesmí být větší než 5kWh/kW instalovaného výkonu. Takže pro náš případ, kdy je instalovaný výkon přibližně 28,5 kWp, by použitý akumulační systém mohl mít maximálně kapacitu 142,5 kWh, což objekt v pohodě splňuje. [5]

Zde je příklad několika podporovaných institucí:

- Fyzické osoby podnikající dle živnostenského zákona zapsané/nezapsané v obchodním rejstříku
- Akciová společnost
- Výrobní družstvo
- Státní podnik
- Veřejná obchodní společnost
- Společnost s ručením omezeným
- Komanditní společnost
- Evropská společnost
- Odštěpný závod
- Zahraniční fyzická osoba

Mezi *nepodporované* typy projektů patří turistická zařízení (hotely, lázně, restaurace), dále vývojové nebo výzkumné projekty a instalace FV systémů u bytových nebo rodinných domech.

Samozřejmě jsou podmínky vztaheny také ke způsobilosti žadatele o podporu. Musí to být podnikatelský subjekt, který má oprávnění k podnikání v oboru, ke kterému je podpora vztahena. Nesmí mít žádné nedoplatky institucím nebo svým vlastním zaměstnancům a musí být veden jako poplatník daně z příjmu. Také musí mít v době vyplácení podpory pobočku nebo provozovnu v České republice. Další podmínky zahrnují také to, že žadatel nesmí být v likvidaci, nesmí mu být uložen zákaz činnosti, který se týká provozování živnosti nebo nesmí být v exekuci. [5]

4.1.1.2 Finanční podpora projektů

Pro lepší orientaci v rámci vyplácení podpory je dobré si vymezit pojem způsobilé výdaje (ZV). Jsou jimi:

- Dlouhodobý hmotný majetek, kde je nutné, aby cena za stavební práce nepřesáhla normovanou hodnotu pro ocenění stavebních prací, jinak budou tyto výdaje kráceny odpovídající hodnotou
- Dlouhodobý nehmotný majetek, kde jsou výdaje považovány za způsobilé pouze tehdy, jestliže odpovídají obvyklým cenám na trhu (je možné provést také porovnání).

Naopak způsobilými výdaji nejsou daň z přidané hodnoty, výdaje, které vznikly před datem přijatelnosti projektu, nákup budov, pozemků nebo splátky půjček a úvěrů a leasing. [5]

Maximální finanční podpora projektu se pohybuje podle velikosti podniku:

- Pro malý podnik až do 80 % ZV
- Pro střední podnik až do 70 % ZV
- Pro velký podnik až do 60 % ZV

Je zde také omezení výše dotace, která může dosáhnout hodnoty maximálně 100 milionů korun, naopak minimální sazba je 300 tisíc korun. Pro objekt, který se v této diplomové práci řeší, byla obdržena nejvyšší možná podpora, a to 80 % ze způsobilých výdajů.

Z hlediska geografického zasazení je důležité místo realizace projektů, nikoliv sídlo žadatele o dotace. Zvýhodněné regiony v rámci ČR budou ty, kde je nezaměstnanost nad

průměrem České republiky. Jde o snahu, aby se daný region hospodářsky rozvíjel, a právě takové projekty mu k tomu velmi napomohou. [5]

4.1.1.3 Podmínky přijatelnosti projektu

Na konci této výzvy jsou také vypsány podmínky přijatelnosti projektu. Mezi ně patří:

- Realizace projektu musí proběhnout na území České republiky mimo území hlavního města Prahy
- Žádost o podporu musí zahrnovat všechny součásti zmíněné výše
- Projekt nesmí být zahájen před datem, kdy byla podána žádost o dotaci. Zahájením je myšleno počátek stavebních prací nebo objednávky zařízení, naopak nepovažuje se za něj nákup pozemků nebo získání povolení a zpracování posudků.
- Projekt musí být v souladu s politikou EU a jejich principy, hlavně:
 - Stejně pracovní příležitosti pro muže a ženy
 - Nediskriminace (například z hlediska zdravotního postižení nebo sociálního vyloučení)
 - Předpisy EU a ČR z hlediska ochrany životního prostředí
- Projekt nebude předpokládat podporu zboží dováženého před zbožím domácím nebo jiné náklady spojené s vývozní činností
- Projekty s ZV vyššími než 5 milionů Kč budou muset provést Finanční analýzu investice a projekty se způsobilými výdaji většími než 100 milionů Kč musí provést tzv. ekonomickou analýzu, kde budou řešit socioekonomické dopady projektu. Obě varianty jsou podmíněny tím, že investiční náklady musí tvořit více než 50 % ZV. [5]

4.1.1.4 Náležitosti projektů

Člověk, který žádá o podporu musí zpracovat a předložit následující:

- Za poslední dvě uzavřená účetní období – Rozvahu a Výkaz zisků a ztrát
- Formulář finanční analýzy
- Výpis z katastru nemovitostí, který prokazuje vlastnické právo příslušných nemovitostí
- Podnikatelský záměr
- Energetický posudek
- Projektová dokumentace – ta musí být zpracována minimálně v rozsahu dokumentace pro stavební povolení (DSP)
- Položkový rozpočet – exportní soubory programů pro kalkulaci rozpočtů, pro jednotlivé položky musí být napsány jednotky, které jsou používány a soubor má být zaslán elektronicky ve formátu xls.
- Souhrnný rozpočet projektu – jeho součet by měl být roven způsobilým výdajům, které jsou uvedeny v žádosti o podporu
- Dokumenty, které jsou požadovány k realizaci projektu dle stavebního zákona
- V neposlední řadě je také zakázáno provádět stavební úpravy, jinak projekt může být ukončen a dotace musí být navrácena. [5]

5 FVE ZLÍN

Fotovoltaická elektrárna, kterou v rámci této diplomové práce budu analyzovat se nachází ve Zlíně v ulici Broučkova, v místní části Příluky.

Obr. 5-1 Fotovoltaická elektrárna při pohledu shora

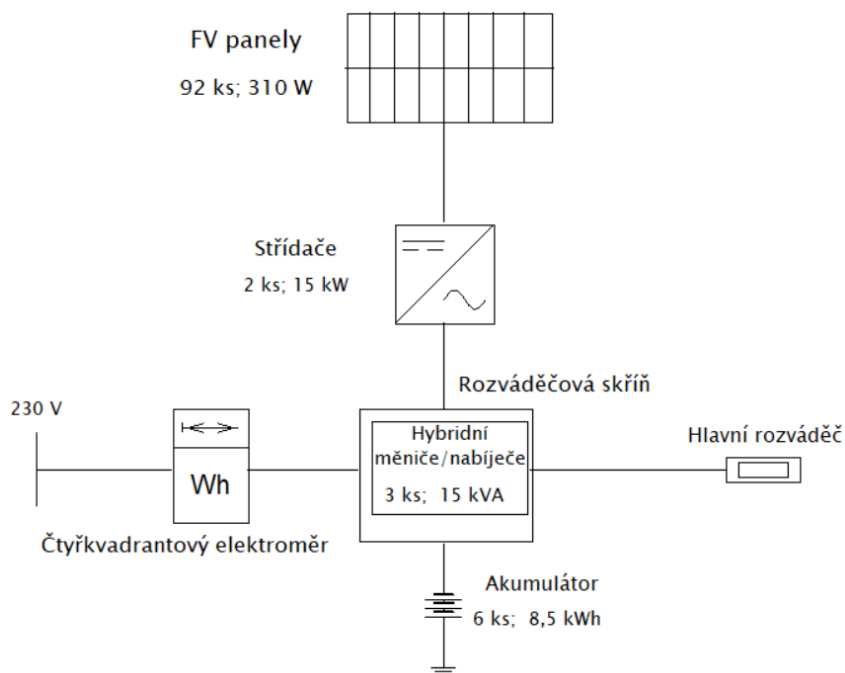


5.1 Popis objektu

Jedná se o jeden a půl roku starou budovu, kde v přízemí se nachází obchod se sportovními potřebami a sklad k tomuto obchodu. V prvním patře jsou poté kanceláře, kuchyňka, zasedací místnost a také technická místnost.

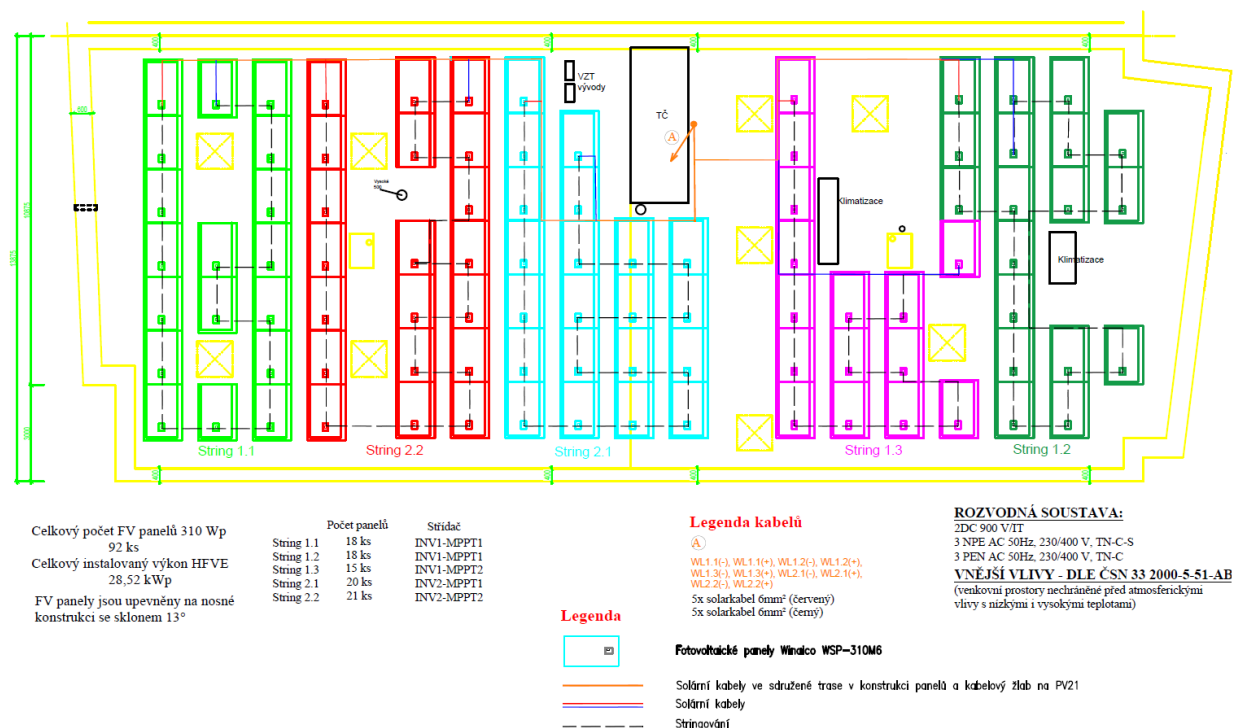
V rámci této instalace byla navržena FVE o instalovaném výkonu 28,52 kW_p, tedy 92 panelů každý o jmenovitém výkonu 310 W_p. Panely jsou natočeny směrem na jih se sklonem 13°. Jako uložení elektrické energie bylo zvoleno celkem 6 akumulátorů, každý o jmenovité kapacitě 8,5 kWh. K přeměně stejnosměrného proudu z fotovoltaických panelů byly zvoleny dva střídače o jmenovitém výkonu 15 kVA. Tento systém bude sloužit k zásobování daného objektu elektrickou energií. Na obrázku 5-2 níže lze vidět zjednodušené blokové schéma FV systému.

Obr. 5-2 Blokové schéma FV systému



Na obrázku 5-3 právě můžeme vidět rozložení panelů na střeše objektu. Černě čárkovaně je na výkresu znázorněno rozdělení panelů do 5 stringů, a také rozdělení těchto stringů k jednotlivým střídačům. Přesto, že jsou oba střídače výkonově stejné, vede do jednoho výkon z 51 panelů a do druhého ze zbylých 41. V poznámce je také poznamenáno, že oba střídače mají dva MPPT, čímž se optimalizuje jejich provoz a tím pádem by měl být i větší zisk z FV panelů. Červeně a modře jsou poté znázorněny solární kabely, které byly použity průměru 6 mm². Ty jednotlivé stringy propojují a poté vedou dolů směrem k rozvodní skříni u hlavního rozvaděče.

Obr. 5-3 Výkres s rozložením panelů na střeše objektu



5.2 Průběh instalace FVE

První částí samotné instalace bylo to, že se na střeše sestrojila hliníková konstrukce pro panely a proběhlo zběžné rozestavení a konzultace s majitelem budovy, jestli ještě nejsou potřeba nějaké změny. Ty nakonec proběhly, ovšem jednalo se pouze o přesunutí jednoho nebo dvou panelů, takže to nebylo nic velkého. Postupně tedy mohlo dojít k předběžné montáži panelů do daných konstrukcí. Tato zvolená konstrukce je samozátěžová, což má výhodu v tom, že se nemusí nějak kotvit do střechy, takže se není problém s poškozením hydroizolace střechy. Do korýtek pod panely se přidávala zátěž v podobě betonových kusů. Rozvržení zátěže a jejich váha pod daný panel byla navržena v software dodavatele konstrukce.

Obr. 5-4 Průběh instalace FVE

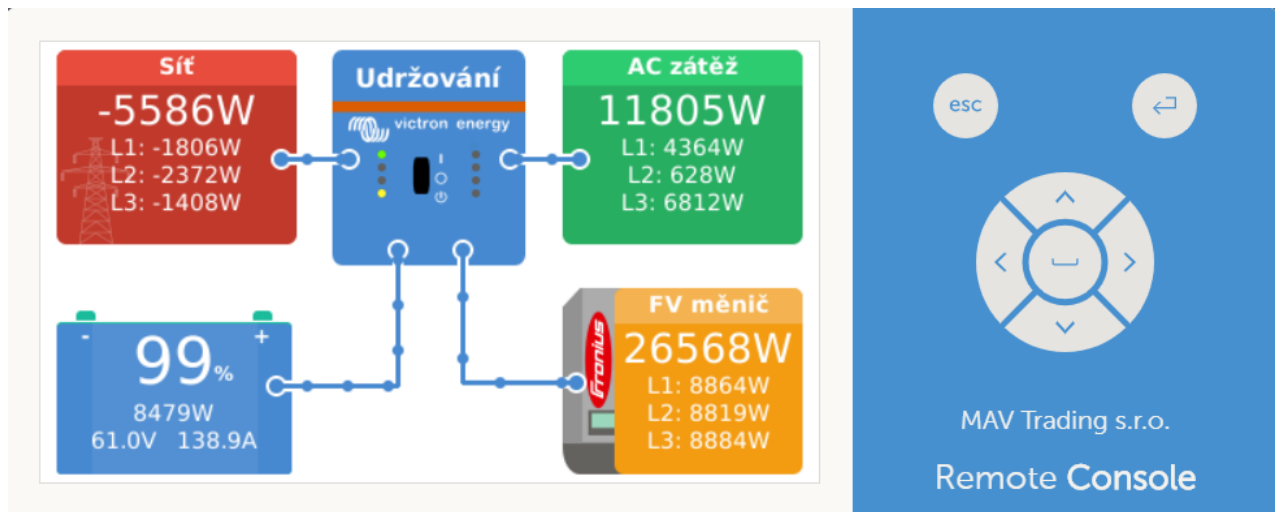


Po upevnění panelů následovala další část, což byla kabeláž a propojování panelů do stringů a jejich vyvedení pomocí kabelů k rozváděči. Poté následovalo zakrytí plechovými pláty zezadu a z boku, aby byla konstrukce, a hlavně kabeláž pod ní chráněna před nepříznivými klimatickými podmínkami.

Poslední částí poté bylo „oživení“ FVE. Nejprve došlo k připojení 6 akumulátorů do hlavního rozváděče a k jejich naprogramování, kde jeden z nich je ostatním nadřazený („master“) a zbylých 5 poslouchá jeho příkazy („slave“). Tak se tedy dosáhne komunikace a řízení mezi akumulátory navzájem.

Poté proběhlo naladění střídačů, které komunikují s hlavním rozváděčem bezdrátově. Po jejich zprovoznění byl na ovládací desce rozváděče vidět jejich aktuální výkon, takže připojení proběhlo dobře. Následné spuštění FVE proběhlo až dva týdny poté, kdy je potřeba nejlépe slunečného počasí, aby se rozběhly střídače.

Obr. 5-5 Panel na rozvaděčové skříni sloužící k dálkovému ovládání



5.3 Použité komponenty

V kapitole 3 byly komponenty FV systému popsány z hlediska principu, charakteristických vlastností a veličin. Zde již budou uvedeny dané typy, které byly při instalaci elektrárny použity. V tabulkách poté budou přehledně uvedeny charakteristické veličiny a parametry.

5.3.1 Střídače

Pro přeměnu stejnosměrného proudu na střídavý byly použity dva totožné třífázové beztransformátorové střídače od firmy Fronius s výstupním výkonem 15 kVA. Střídače jsou připojeny pomocí sítě Ethernet k internetu a jeho rozhraní umožňuje kontrolovat dodávku energie do sítě.

Obr. 5-6 Použitý střídač Fronius Symo15.0-3-M [6]



Tab. 5-1 Parametry použitého střídače Fronius Symo 15.0-3-M [6]

Fronius Symo 15.0-3-M			
DC strana		AC strana	
Počet MMP trackerů	2	Jmenovitý výstupní AC výkon	15 kW
Maximální vstupní DC proud	33 / 27 A	Maximální výstupní AC výkon	15 kVA
Maximální proud nakrátko	49,5/40,5 A	Výstupní AC proud	21,7 A
Rozsah vstupního DC napětí	200-1000 V	Rozsah AC napětí	150-280 V
Jmenovité vstupní DC napětí	600 V	Frekvence	50/60 Hz
Rozsah napětí MPP	320-800 V	Rozsah frekvence	45-65 Hz
Maximální DC výkon	22,5 kWp		
Obecné parametry			
Evropská účinnost	97,8 %	Rozsah teplot	od -40 °C až +60 °C
Účinnost přizpůsobení	>99,9 %	Rozměry (V x Š x H)	725 x 510 x 225 mm
Provedení	bez transformátoru	Stupeň ochrany	IP 66

5.3.2 Akumulátory

Celkem bylo použito 6 lithium iontových akumulátorů firmy BMZ o jmenovité kapacitě 8,5 kWh. Komunikace bude probíhat pomocí bateriového managementu, který zajišťuje hlídání parametrů jako teplota, vysoký stav nabití nebo naopak podbití. Každý akumulátor je vybaven pojistkami PNA00 gG s vypínacím proudem 160 A. Výkon je vyveden kabely CYKY 5 x 16 mm² do skříňového rozváděče. Parametry každého akumulátoru jsou znázorněny v tabulce níže.

Obr. 5-7 Akumulátor BMZ 8,5 kWh [7]



Tab. 5-2 Parametry akumulátoru BMZ ESS 9.0 [7]

BMZ ESS 9.0	
Energie (jmenovitá/použitelná)	8,5 kWh/6,8 kWh
Jmenovité napětí	54 V
Koncové nabíjecí/vybíjecí napětí	61,5 V/45,0 V
Maximální vybíjecí proud	300 A (3 s)
Maximální vybíjecí výkon	18 kW
Kapacita (jmenovitá/použitelná)	156,6 Ah/125,3 Ah
Váha	97 kg
Rozměry (Š x V x H)	638 x 421 x 487 mm
Typ	Li-Ion NCA
Hloubka vybití	80 % DOD
Počet cyklů	5000,0
Samovybití	2 % / rok
Doporučená provozní teplota	Od 10 °C do 25 °C
Battery management systém	Monitoring napětí, teploty a proudu

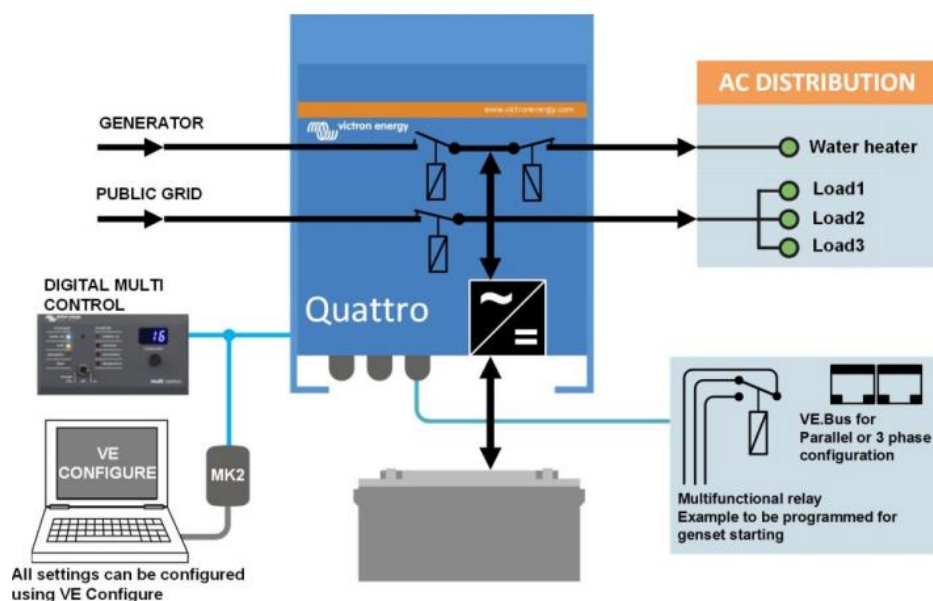
5.3.3 Měnič/nabíječ

Jako nabíječ akumulátorů a invertor byl použit Victron Energy Quattro 48/15000/200, který může být připojen ke dvěma nezávislým zdrojům. Vždycky se automaticky v případě potřeby připojí ke zdroji, který je k dispozici. Hlavní vstup zajišťuje dodávku bez přerušení. Při výpadku sítě převezme nabíječ/měnič zásobování objektu v čase menším než 20 ms, takže počítače ani další spotřebiče mohou pokračovat bez přerušení. K druhému vstupu lze připojit zátěž, která by rychle vybila akumulátory (ohřívač vody).

Na každém vstupu lze nastavit proudové omezení, aby nedošlo k přetížení zdroje. Pokud by došlo k přetížení zdroje proudu, automaticky sníží nabíjecí proud baterií. Při snížení zátěže je poté energie použita na dobití baterie. [8]

V instalaci byly použity celkem 3 tyto nabíječe/měniče s parametry, které jsou zobrazeny v tabulce 5-3 níže.

Obr. 5-8 Princip a schéma zapojení nabíječe/měniče Victron Energy [8]



Tab. 5-3 Parametry měniče/nabíječe Victron Energy Quattro [8]

Victron Energy Quattro 48/15000/200	
Pracovní DC napětí	48 V
Trvalý AC výkon při 25 °C (nelineární zátěž)	15 kVA
Trvalý AC výkon při 25 °C	12 kW
Maximální výkon	25 kW
Maximální účinnost	96 %
Maximální nabíjecí DC proud	200 A
Maximální odběr AC proudu	200 A
Rozměry (V x Š x H)	572 x 488 x 344
Teplotní senzor	ano

5.3.4 Vyvedení výkonu

Výkon bude z FV panelů vyveden solárními kabely o průměru 6 mm² do rozváděče DC a poté do střídačů. Do rozváděče AC strany bude poté vyveden kabely CYKY-J 5 x 10 mm². Z rozváděče AC strany je potom výkon vyveden do skříňového rozváděče kabely CYKY-J 5 x 16 mm², kde je ukončen 3f jističi. Instalován je také 3f přímý čtyřkvadrantový elektroměr. Je zde také instalován přijímač HDO, který slouží k řízení výkonu nebo vypnutí FVE z dispečinku distribuční společnosti. [8]

5.3.5 Fotovoltaické panely

Jako zdroj jsou použity monokrystalické fotovoltaické panely od firmy Winaico se jmenovitým výkonem 310 Wp. Naklonění panelů bylo 13° směrem na jih. Panely jsou usazeny v hliníkové konstrukce, kde jsou pevně přimontovány. Jak již bylo zmíněno výše v popisu instalace, panely jsou také chráněny proti nepříznivým klimatickým podmínkám, jak lze vidět na obrázku 5-9.

Obr. 5-9 Použitý fotovoltaický panel WSP-310M6



Obr. 5-10 Krytí FVE před klimatickými podmínkami



Tab. 5-4 Parametry použitých FV panelů WSP-310M6 [10]

WSP-310M6			
Jmenovitý výkon	P_{MAX}	(W)	310,0
Napětí naprázdno	U_{OC}	(V)	40,3
Proud nakrátko	I_{SC}	(A)	10,1
Napětí při maximálním výkonu	U_{MP}	(V)	32,9
Proud při maximálním výkonu	I_{MP}	(A)	9,4
Účinnost modulu	η	(%)	18,6
Pozn. Hodnoty jsou uvedeny pro STC			

5.3.6 Rozváděče

Rozváděč stejnosměrné strany je nástěnného provedení, krytí IP 65/20 a je umístěn v technické místnosti. Je vybaven přepět'ovou ochranou, pojistkovými odpojovači pro jištění stringů.

Rozváděč AC je umístěn také v technické místnosti na stěně. Je zde vyvedení výkonu do distribuční soustavy, měření elektrické energie, AC jištění střídačů a také přepět'ová ochrana AC strany. [9]

Obr. 5-11 Technická místnost s rozváděčovou skříní, střídači, akumulátory a měniči/nabíječi



6 TVORBA SKRIPTŮ PRO ZPRACOVÁNÍ DAT

Pro potřeby diplomové práce bylo v plánu provozní měření, ovšem všechny přístroje jsou vybaveny vzdáleným monitoringem a většina potřebných dat je tedy dostupná online na portálu Victron Energy [11]. Z toho důvodu jsou data importována, a poté zpracována do grafů pomocí programu Matlab.

6.1 Vykreslení grafů veličiny podle vlastní volby

Z portálu Victron Energy byla možnost stáhnout data ze všech přístrojů zároveň, a to jak ve formátu *.csv* nebo *.xlsx*. V prvním případě to jsou základní veličiny dvou invertorů (výkon, napětí, proud, energie), baterie (SOC, napětí, proud), veličiny na vstupu a na výstupu (napětí, proud, frekvence, výkon) a také výkony do/ze sítě nebo spotřeba. Kromě baterie jsou většinou hodnoty vypsány pro každou fázi zvlášť.

V druhém případě, kde je v souboru poznačena jednotka „kWh“ se jedná o hodnoty toku elektrické energie. Ze sítě do baterie a opačným směrem, ze sítě rovnou ke spotřebě a také z baterie ke spotřebě. Samozřejmě jsou zde hlavně toky energie z FVE do/ze sítě, ke spotřebě a do baterie.

Na portálu, odkud se data stahují si člověk může zvolit, zda chce hodnoty z hodiny, několika hodin, dnů nebo dokonce z celého roku. Proto je ve skriptu také jeden řádek s funkcí *datetime*, která vypíše na osu x datum. Tuto informaci bere hned z prvního sloupce importovaného souboru, kde je napsáno datum včetně přesného času zaznamenání dané veličiny.

Pro základní zpracování dat okamžitých hodnot jsem vybral variantu, kdy se stáhne soubor z portálu Victron Energy ve formátu *.csv*. Poté jej importujeme na nový list klidně toho samého souboru již do tabulek. Původní list s čárkami jako oddělovači smažeme a soubor poté uložíme ve formátu *.xlsx*. Soubor uložený ve formátu *.csv* by totiž nedokázal zachovat formátování a hodnoty by byly přepsány. Důležité je také smazat prázdný list, aby zůstal v sešitu Excelu pouze jeden list, jelikož po načtení by program vyhazoval chybu. Pro tento případ je to nežádoucí, jelikož by se poté musela nahradit proměnná *x* ve skriptu označením *x.List1*, *x.List1.data*, popřípadě názvem našeho listu.

Jako první krok po stisknutí tlačítka *Play*, jsem zvolil, jak lze vidět na obrázku 6-1, načtení s možností výběru daného souboru, což lze uskutečnit pomocí funkce *uigetfile*, která nám načte typ souboru podle toho, jakou koncovku vložíme do závorčky za něj. V našem případě sešit excelu (*.xlsx*). Dále zvolíme oddělovač, jenž je v souboru používán, což je v našem případě tabulátor. Jen tyto dva samostatné řádky mají za důsledek načtení kompletního souboru Excelu do jedné proměnné *x*. Další řádky ve skriptu jsou k odstranění sloupců s hlášením přístrojů, které tedy neobsahují žádné číselné hodnoty. Pro naše potřeby, které jsou vykreslení grafů naměřených veličin, je tedy nebudeme potřebovat. Vymazání celého sloupce uskutečníme vypsáním prázdných hranatých závorek za znaménko rovná se. Na úvod jako poslední věc ještě smažeme první tři řádky, kde jsou vypsány veličiny, jednotky a také přístroj, který je zaznamenává. Po těchto úpravách tedy máme proměnnou *x*, ve které jsou pouze číselné hodnoty veličin ve sloupcích. V podstatě se může tento krok vynechat, poté bychom museli počítat s tím, že budou v proměnné *x* také text.

Obr. 6-1 Úvod skriptu k vykreslení grafů průběhů veličin v programu Matlab

```

5 - mereni = uigetfile('*.*xlsx');           %filtr na soubory csv (xlsx)
6 - x = importdata(mereni, '\t');           %import dat, oddelovac
7
8 - x(:,2:3) = [];                           %odstraneni sloupce s hlasenimi od pristroju
9 - x(:,26) = [];                             %odstraneni sloupce s hlasenimi od pristroju
10 - x(:,27:46) = [];                         %odstraneni sloupce s hlasenimi od pristroju
11 - x(:,36:53) = [];                         %odstraneni sloupce s hlasenimi od pristroju
12 - x(:,51) = [];                            %odstraneni sloupce s hlasenimi od pristroju
13 - x(:,63:64) = [];                         %odstraneni sloupce s hlasenimi od pristroju
14 - x(:,75:77) = [];                         %odstraneni sloupce s hlasenimi od pristroju
15
16 - x(1:3,:) = [];                           %odstraneni radku s popisem
17
18 - pocet_bunek = size(x,1);
19 - t = datetime(x(:,1), 'InputFormat', 'yyyy-MM-dd HH:mm:ss');
20
21 - disp('Výběr průběhů veličin k zobrazení:')
22 - disp('1 - Vstupní veličiny      2 - Veličiny na výstupu  3 - Parametry baterie - Monitoring')
23 - disp('4 - Parametry baterie - Systém  5 - Systémové veličiny  6 - Veličiny střídače [20]  7 - Veličiny střídač [22]')
24
25 - a = input('Vyberte možnost: ');
26
27 - switch a
28 -     case 1
29 -         disp('Veličiny na vstupu:')
30 -         disp('1 - Napětí      2 - Proud      3 - Frekvence      4 - Výkon')
31 -         b = input('Vyberte možnost: ');
32 -         switch b
33 -             case 1

```

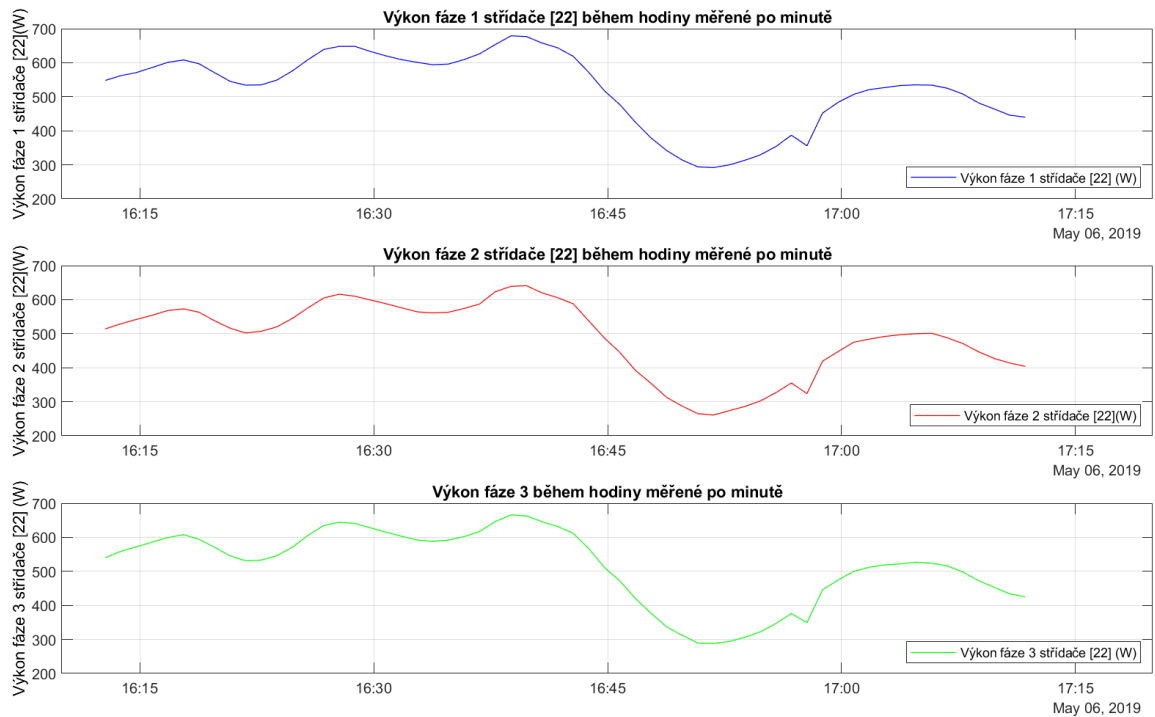
Pro možnost volby zobrazení různých veličin jsou vypsány v Command Window základní skupiny těchto veličin, podle jejichž čísla lze zvolit danou možnost. Po výběru dané skupiny se pak zobrazí již veličiny v rámci této podskupiny a po další číselné volbě se zobrazí grafy dané veličiny ve všech třech fázích zvlášť a také v dalším grafu také dohromady (u třífázových veličin). Možnost výběru je ve skriptu vyřešena cyklem *switch-case*.

Pro příklad provedeme volbu 7 – Invertor [22], to nás odkáže na napětí, proud, výkon a energii. Po výběru jedné z možností se poté ukáží grafy dané veličiny. Tyto grafy můžeme vidět na obrázcích 6-2 a 6-3, kde jsou zobrazeny veličiny v průběhu hodiny ze dne 6. května od 16:10 do 17:10, respektive ze dne 9. května od 13. do 14. hodiny.

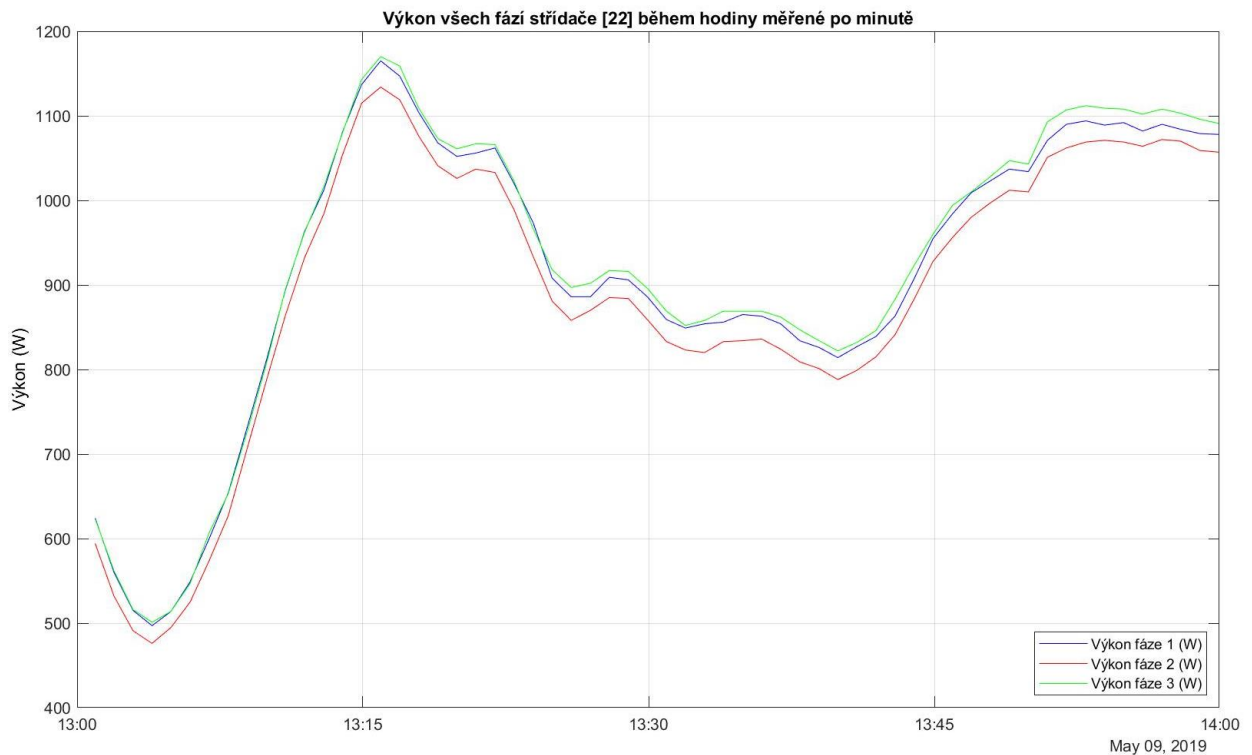
Pro samotné vykreslení grafu je použita funkce *plot*, popřípadě *subplot*, pro zobrazení tří grafů v jednom okně. Důležitými řádky před každou tvorbou grafu je také funkce *str2double*, která přemění hodnoty z proměnné typu *cell* (pro tento typ proměnné by graf nešel zobrazit) na proměnnou typu *double*.

Tento skript a také skripty pro grafické znázornění toků energií budou zahrnuty u elektronické verze v příloze.

Obr. 6-2 Výkon každé fáze střídače [22] zvlášť dostupné z [11]



Obr. 6-3 Výkon všech fází střídače [22] dohromady dostupné z [11]



6.2 Zobrazení průběhů energie

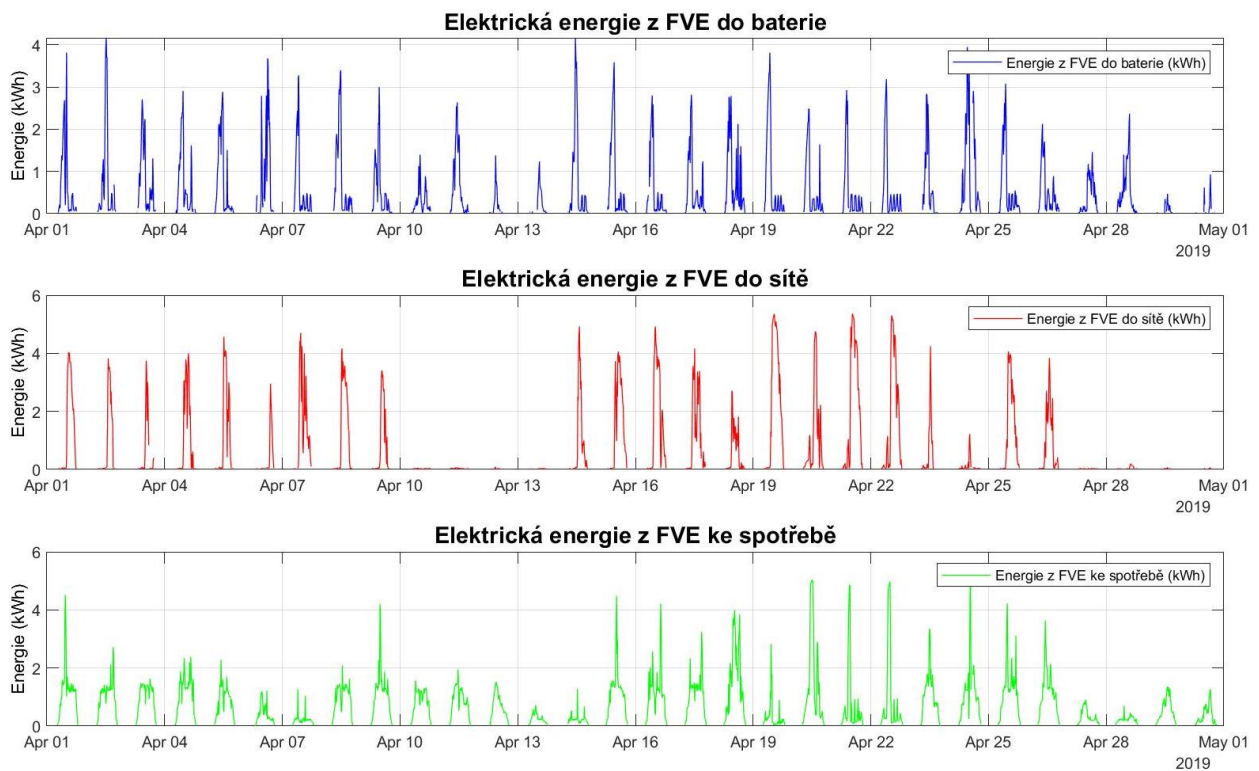
Pro druhý typ souboru, který lze stáhnout, a tím jsou toky energie měřené během 15 minut, byl také vytvořen skript pro jeho vyhodnocení. V tomto případě je dat daleko méně, takže tento skript již není tak dlouhý. Opět se zde smažou řádky s popisem a jednotkami, nastaví se časový formát pomocí funkce *datetime* a je zde možnost výběru, zda si chceme zvolit tok energie ze sítě, z baterie

nebo z fotovoltaické elektrárny. Poslední možnost volby je poté sloupcový graf se všemi energiemi, které jsou monitoringem zaznamenány, takže si člověk může porovnat hodnoty například během celého měsíce.

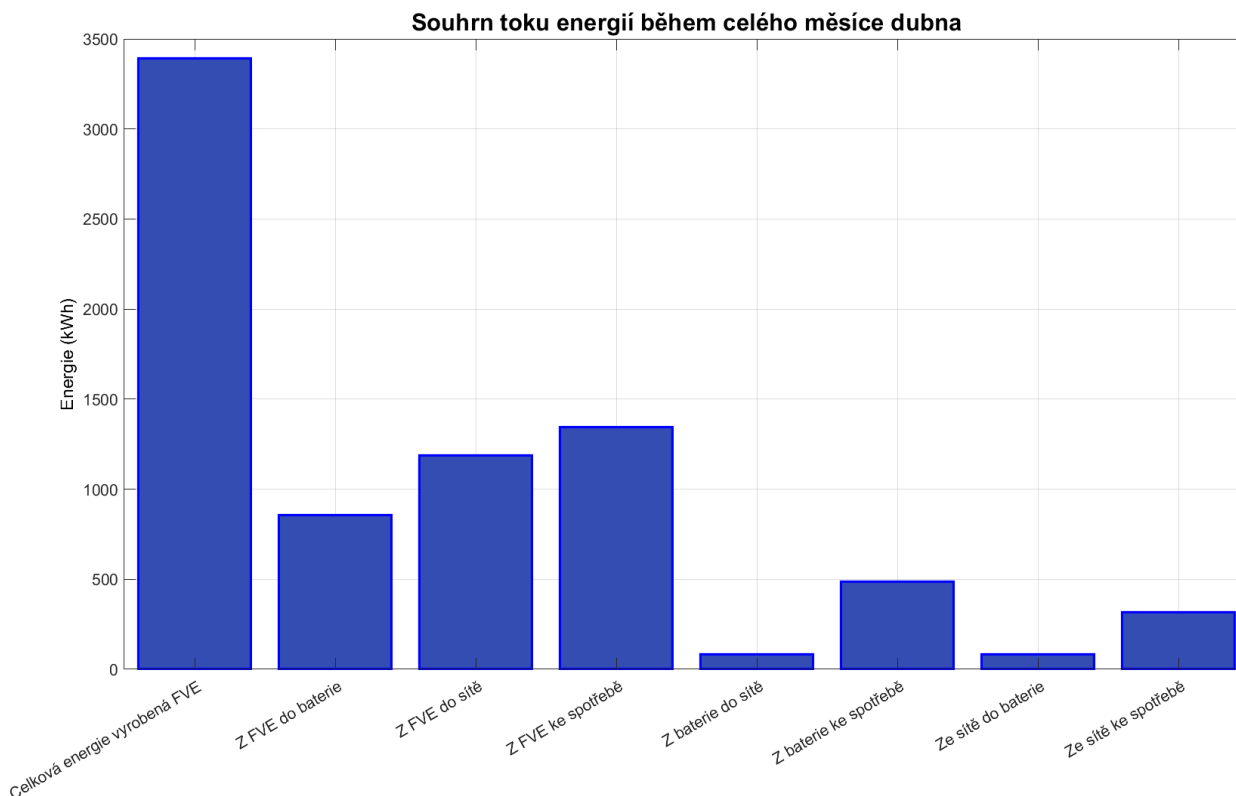
V návaznosti na tento skript byl vytvořen skript porovnání energií ze všech měsíců provozu FVE. Tento skript je ovšem již na modifikovaný sešit Excelu, kde jsou ve sloupcích vedle sebe srovnána již upravená data z každého měsíce fungování elektrárny. Pro data přímo stažené z portálu Victron Energy tedy skript není určen. Je zde také vypočítána celková výroba FVE, dále celková spotřeba objektu a také procentuální rozložení, kam putuje energie vyrobená FVE a odkud se čerpá energie pro spotřebu objektu. V kapitole 7.2. jsou tyto obrázky detailněji popsány a zobrazeny.

Důležité u těchto skriptů je, aby se součet energií neprováděl pouze příkazem *sum*, ale pomocí *nansum*, neboť v souborech je hodně buněk s nulovými hodnotami, takže by tento příkaz vrátil chybu. Procentuální rozložení toku energie je poté vždy jen jednotlivá složka (pro příklad: energie z FVE do baterie) podělena celkovou výrobou fotovoltaické elektrárny a vynásobena, aby výsledek dával procenta.

Obr. 6-4 Zobrazení toku elektrické energie z FVE do baterie, sítě a ke spotřebě v měsíci dubnu



Obr. 6-5 Sloupcové zobrazení toku elektrické energie v měsíci dubnu



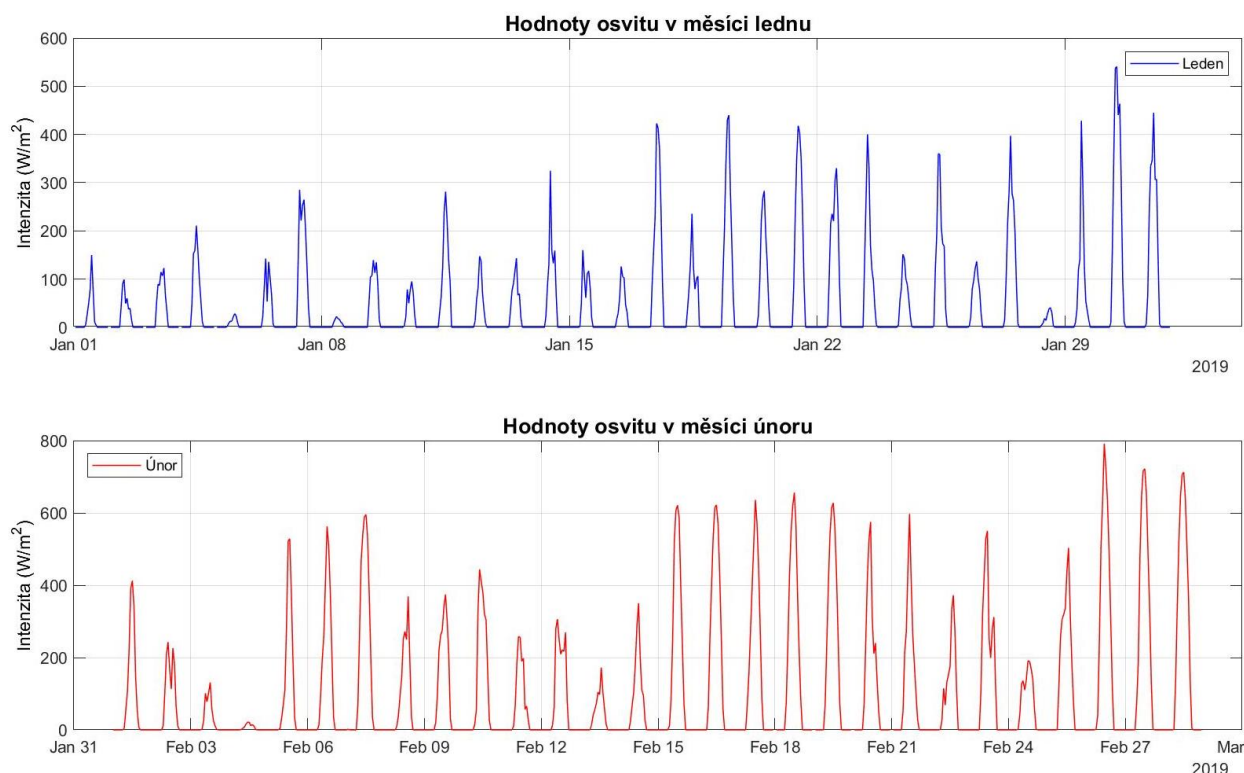
7 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT

Minulá kapitola popisovala složení skriptů, co různé příkazy znamenají, v této kapitole se budeme zabývat energetickým významem hlavně toku všech energií a budeme vyhodnocovat provoz FVE v dosavadních pár měsících, kdy funguje.

7.1 Klimatické podmínky

Jelikož nemá daná fotovoltaická elektrárna žádný monitoring osvit (intenzity slunečního záření), musela se tato data sehnat alternativní cestou, a to přes Univerzitu Tomáše Bati ve Zlíně, kde mají meteorologičtí. Data tedy nebudou přesně taková, jaká by byla naměřena přímo na místě elektrárny, ovšem budou nám postačovat. V následujících obrázcích jsou spíše demonstrativně ukázány průběhy osvit v uplynulých měsících roku 2019 pro porovnání, jakých hodnot může intenzita slunečního záření dosahovat v zimních a jarních měsících. [12]

Obr. 7-1 Hodnoty osvitu pro leden a únor 2019 [12]



V lednu lze vidět, že se maximální hodnoty intenzity slunečního záření i ve slunečných dnech pohybují na hodnotách kolem 400 – 500 W/m^2 . Slunce ještě nemá takovou sílu, aby dosahovaly vyšších velikostí. V druhé půlce února už vidíme nárůst hodnot nad 600 W/m^2 a ke konci měsíce už se pohybujeme u hodnot téměř 800 W/m^2 .

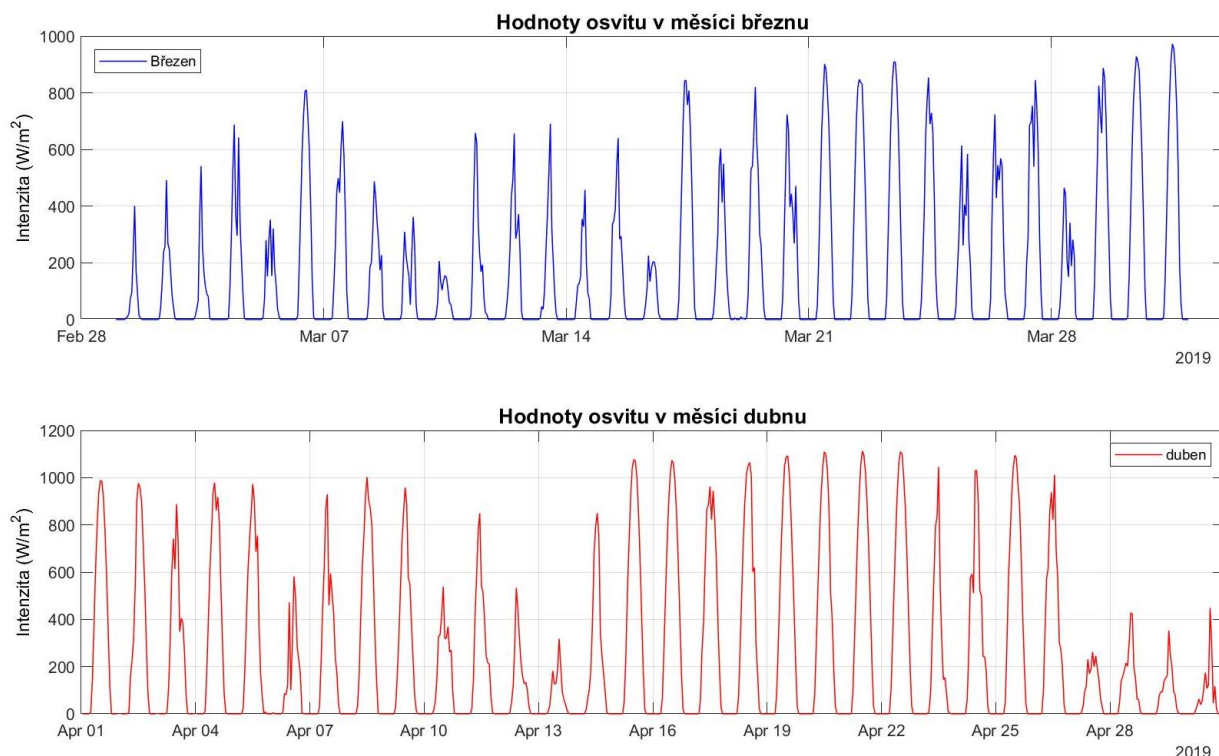
Na začátku března se intenzita slunečního záření nezvyšuje nějak rapidně, jak lze vidět na obrázku 7-2, jelikož nebylo moc hezky, ovšem v druhé polovině měsíce, již hodnoty intenzity přesahují 800 W/m^2 . V dubnu, jenž byl tento rok extrémně teplý a slunečný, již intenzita slunečního záření dosahuje v maximech nad 1000 W/m^2 , což je optimální pro FVE. Teplota v jarních měsících totiž není ještě moc vysoká, když se pohybuje kolem 20 °C, takže nedochází k poklesu účinnosti vlivem vysokých teplot.

Maximální a průměrné hodnoty intenzity slunečního záření jsou uvedeny v tabulce 7-1.

Tab. 7-1 Hodnoty intenzit slunečního záření z meteostanice na UTB ve Zlíně [12]

Intenzita slunečního záření		
Měsíc	Maximální hodnota	Průměrná hodnota za den
	(W/m^2)	(W/m^2)
Leden	540,84	1089,99
Únor	791,33	2458,46
Březen	972,85	3974,39
Duben	1112,53	5959,62

Obr. 7-2 Hodnoty osvitu pro březen a duben 2019 [12]



Jelikož známe celkové hodnoty osvitu v každém měsíci a také výrobu FVE, můžeme určit, jak účinně elektrárna přeměňovala sluneční záření na elektrickou energii. Hodnoty jsou zobrazeny v tabulce 7-2 níže.

Tab. 7-2 Hodnoty pro výpočet skutečné účinnosti přeměny sluneční energie na elektrickou

Měsíc	Celkový osvit [12]	Plocha FV panelů	Sluneční energie dopadající na FVE	Výroba FVE za měsíc (E_{FVE})	Účinnost
	(kWh/m ²)	(m ²)	(kWh)	(kWh)	(%)
Leden	33,79	153,03	5170,88	335,86	6,50
Únor	68,84	153,03	10534,59	1339,81	12,72
Březen	123,21	153,03	18854,83	2529,15	13,41
Duben	178,79	153,03	27360,23	3389,63	12,39
Rozměry jednoho panelu: a = 1,665 m, b = 0,999 m				Počet panelů: n = 92	

Příklady výpočtů pro 1. řádek tabulky 7-2:

Energie dopadající na plochu panelů:

$$E_{PANELY} = I_{m\acute{e}s\acute{i}c} \cdot a \cdot b \cdot n = 33,79 \cdot 10^3 \cdot 1,665 \cdot 0,999 \cdot 92 = 5170,88 \text{ kWh} \quad (7.1)$$

Účinnost přeměny elektrické energie:

$$\eta_{PŘEMENA} = \frac{E_{FVE}}{E_{PANELY}} = \frac{335,86}{5170,88} = 6,50 \% \quad (7.2)$$

Z těchto hodnot můžeme vyčíst, že zatímco v lednu byla sluneční energie přeměňována jen s účinností 6,5 %. V dalších měsících se účinnost pohybovala v rozmezí 12,4 až 13,4 %. Panely by

měly mít účinnost podle technického listu 18,6 %, takže se pohybujeme asi na dvou třetinách této účinnosti. Ta je ovšem brána pro standardní testovací podmínky (STC). Právě kvůli tomu se této účinnosti nedočkáme, jelikož panely jsou ve sklonu pouze 13° a navíc budova je odkloněna asi o 15° na západ.

7.1.1 Porovnání výroby pro několik různých dnů roku 2019

Je zajímavé sledovat výrobu elektrické energie přes den, kdy je po celou dobu jasno a přes den, kdy je zataženo. Samozřejmě i když je zataženo, tak elektrárna pořád vyrábí elektrickou energii, ovšem je to jen zlomek toho, co by vyrobila za jasného dne. Pro příklad bylo vybráno několik dnů od začátku roku, kde jsou tyto rozdíly ve výrobě pěkně vidět. V tabulce 7-3 níže jsou číselné hodnoty přehledně zapsány.

Tab. 7-3 Porovnání výroby z FVE pro různé dny roku 2019

Porovnání výroby FVE v různé dny roku 2019					
Datum	Popis dne [13]	Do sítě	Do baterie	Spotřeba	Celkem
		(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
21. ledna	polojasno, teploty pod nulou	0,52	8,55	39,95	49,02
26. února	jasno, 14 °C	13,25	35,82	51,98	101,05
13. dubna	zataženo, 6 °C	0,77	8,83	12,58	22,18
14. dubna	polojasno, 12 °C	42,26	37,88	12,25	92,39
21. dubna	jasno, 22 °C	106,68	25,84	40,33	172,85

Počasí šlo odhadnout dobře i z hodnot meteostanice, teploty byly ještě zjištěny na webu [13].

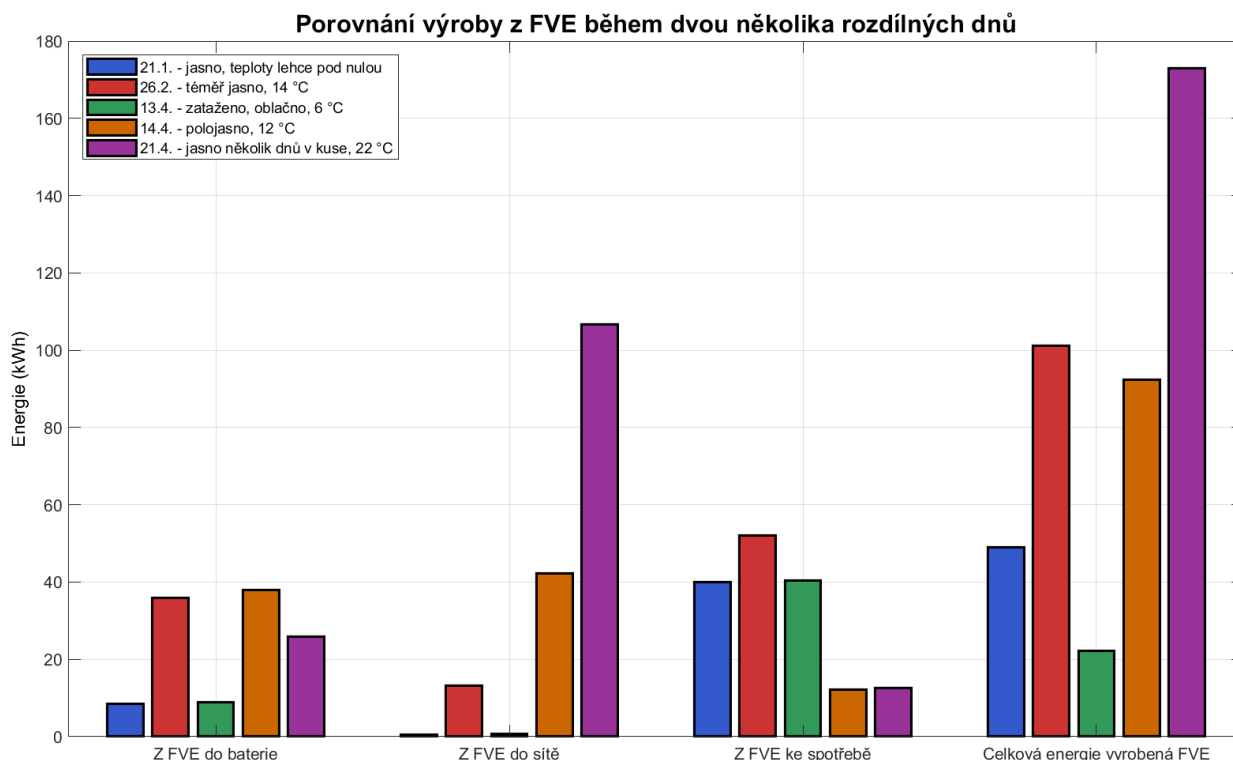
Jako první den byl vybrán 21. leden, kdy se teplota pohybovala lehce pod bodem mrazu a bylo téměř jasno. Jelikož v předchozích dnech nebyla velká výroba, kolem 80 % vyrobené elektrické energie šla rovnou ke spotřebě a zbytek do baterie. Celkové energie vyrobená během dne byla 49,02 kWh. Další jsem vybral zimní den, který byl netradičně teplý a jasný den – konkrétně 26. únor, kdy teplota dosahovala 14 °C. Opět nebyla výroba v předchozích dnech vysoká, takže šla polovina energie rovnou ke spotřebě a kolem 35 % do akumulátoru a zbytek do sítě. Celková výroba v tento den dosáhla 101,05 kWh.

Další tři dny byly vybrány velmi rozdílné na jaře, a to konkrétně v polovině dubna. První den, a to 13. dubna, byl zatažený a oblačný, takže taky podle toho vypadala výroba. Celkově bylo vyrobeno pouze přes 22 kWh, z toho přes 50 % šlo na spotřebu, přes 40 % do baterie a necelých 5 % do sítě. Hned následující den (14. duben) už bylo polojasno, takže výroba byla více než 4x vyšší. Jelikož ovšem nebyla taková spotřeba, přes 40 % vyrobené energie putovalo do sítě, dalších 40 % do baterie a jen kolem 15 % bylo použito ke spotřebě.

Jako poslední den k porovnání byl vybrán den s maximální změřenou intenzitou slunečního záření, a to 21. dubna. Jelikož to byl již několikátý den v řadě, kdy bylo jasno nebo polojasno, byla baterie téměř nabitá, takže šlo přes 60 % vyrobené energie do sítě. Kolem 25 % bylo spotřebováno a zbytek byl akumulován do baterie. Celková výroba v tento den byla 172,85 kWh s maximální vyrobenou energií mezi 12. a 13. hodinou, a to 22,13 kWh, což je stejná vyrobená energie za celý den během 13. dubna.

Celkově tedy můžeme vidět, že rozdíl výroby při různém osvětlení během dne je markantní, kdy pro zatažený jarní den je výroba z FVE v našem případě téměř 8x menší než pro jarní den, kdy je jasno.

Obr. 7-3 Porovnání výroby z FVE pro různé dny roku 2019



7.2 Tok energií FVE v jednotlivých měsících roku 2019

Po vybudování FVE je pro majitele asi nejdůležitější informací, kolik energie daná FVE vyrábí, a jak je s danou vyrobenou energií zacházeno. Tedy kolik vyrobené energie putuje přímo ke spotřebě, kolik je akumulováno do baterie a kolik putuje do sítě. Právě toto rozdělení můžeme vidět na obrázcích 7-4, 7-5 a 7-6 a hodnoty jsou vypsány v tabulkách 7-4 a 7-5.

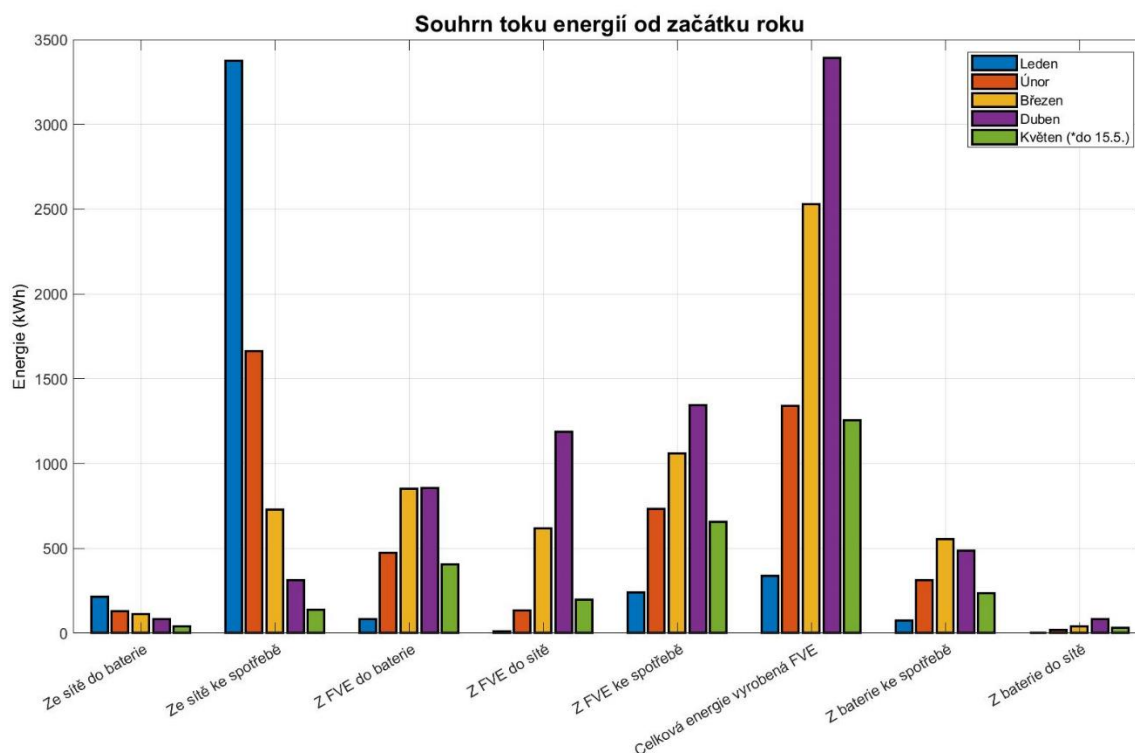
Tab. 7-4 Číselný souhrn toků energie od začátku roku 2019

Měsíc	Ze sítě		Z fotovoltaické elektrárny				Z baterie	
	Do baterie	Ke spotřebě	Do baterie	Do sítě	Ke spotřebě	Výroba celkově	Ke spotřebě	Do sítě
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Leden	212,65	3374,45	83,15	11,36	241,35	335,86	73,10	3,53
Únor	131,49	1662,07	473,27	132,36	734,18	1339,81	310,47	17,42
Březen	110,81	728,68	850,23	617,85	1061,07	2529,15	553,13	40,37
Duben	81,68	314,61	857,49	1187,36	1344,78	3389,63	488,21	82,31
Květen*	41,10	137,36	405,07	196,06	654,66	1255,79	237,49	32,86

*data z měsíce května jsou brána do 15.5.

Z obrázků můžeme vyčíst, že během měsíce ledna FVE vyráběla velmi málo, proto taky musela být elektrická energie dodávána ze sítě z více než 90 %. Krásně jde ovšem vidět, že když se výroba z FVE zvyšuje, podíl elektrické energie ze sítě se rapidně zmenšuje, až k necelým 15 % v měsíci dubnu a půlce měsíce května.

Obr. 7-4 Souhrn toků energie od začátku roku 2019



Tab. 7-5 Procentuální rozložení výroby z FVE a spotřeby v jednotlivých měsících

Měsíc	Výroba FVE procentuálně			Spotřeba procentuálně		
	Do baterie	Do sítě	Ke spotřebě	Ze sítě	Z FVE	Z baterie
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Leden	24,76	3,38	71,86	91,48	6,84	1,98
Únor	35,32	9,88	54,80	61,41	27,12	11,47
Březen	33,62	24,43	41,95	31,10	45,29	23,60
Duben	25,30	35,03	39,67	14,64	62,63	22,74
Květen*	32,26	15,61	52,13	13,34	63,59	23,07

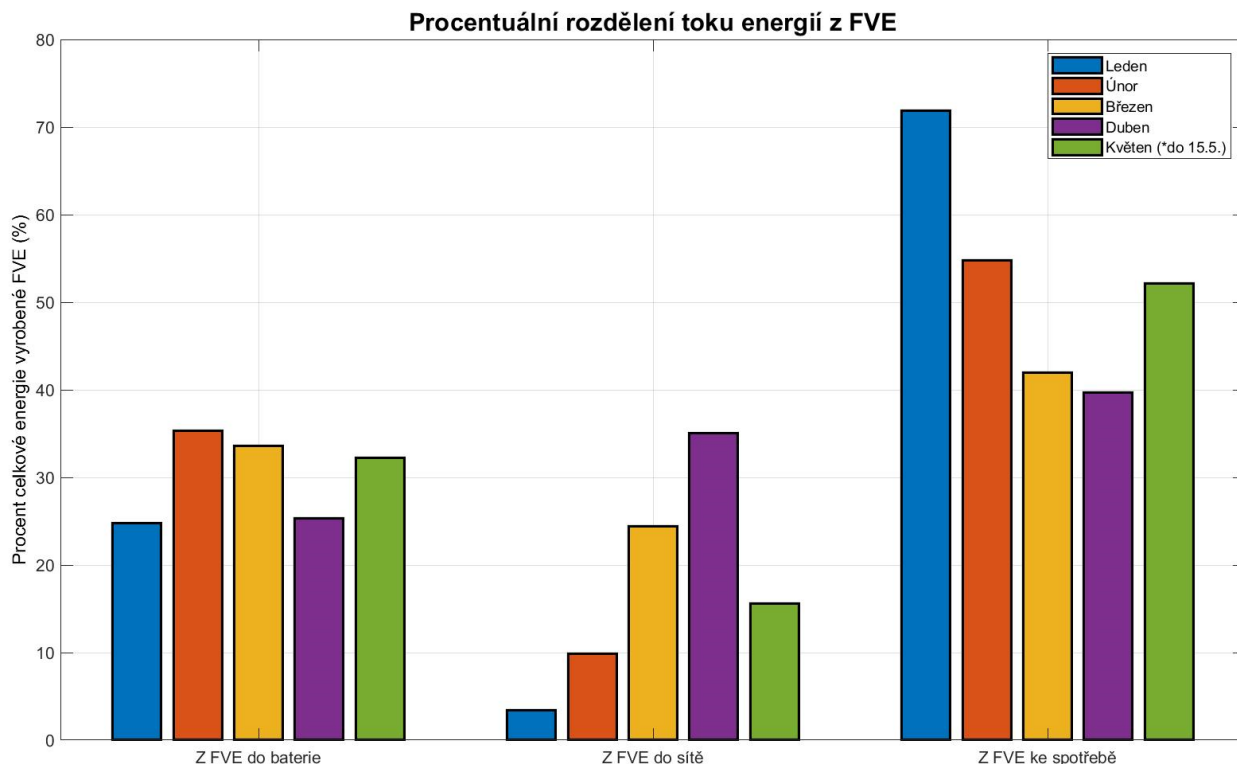
*data z měsíce května jsou brána do 15.5.

Na obrázku 7-5 lze vidět, že do baterie putuje z FVE po celý sledovaný interval procentuálně přibližně stejně elektrické energie, a to v rozmezí od 25 až 35 %. Je to způsobeno tím, že často je baterie plně nabitá, takže již do sebe není schopna uložit další energii nebo je vyrobená elektrická energie rovnou spotřebována.

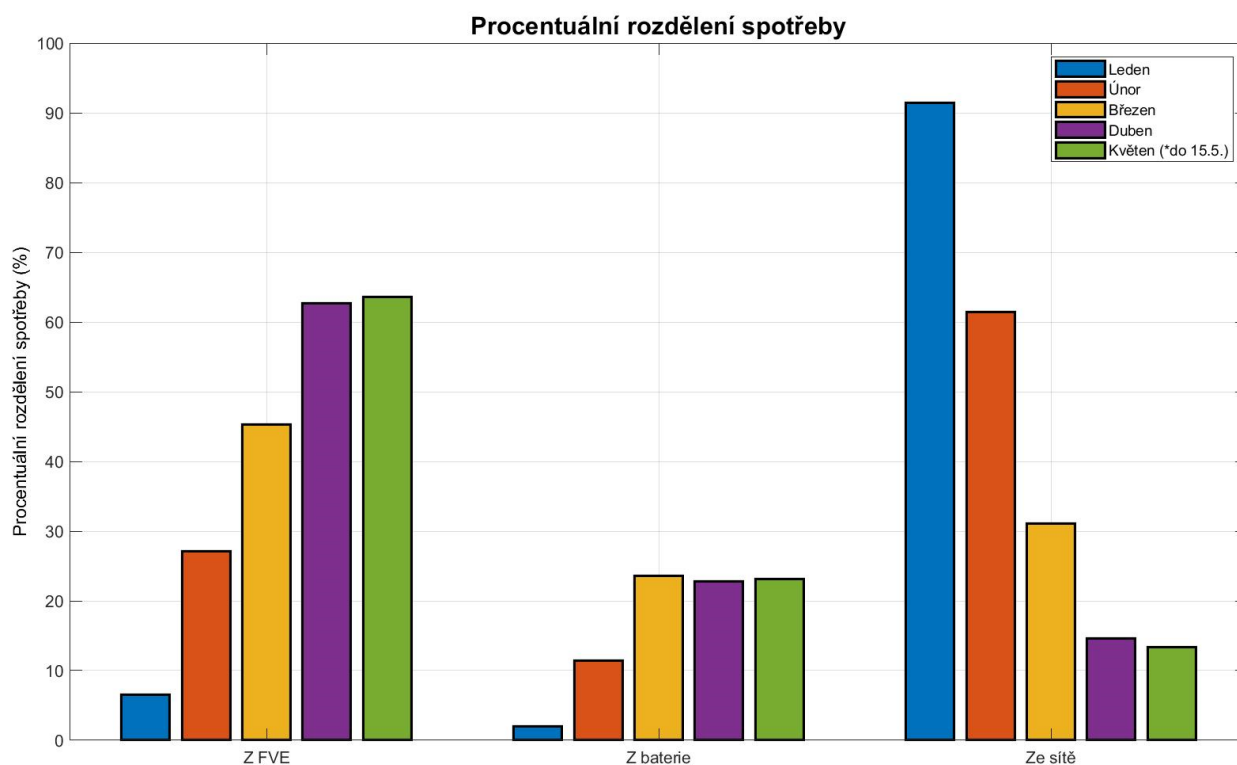
Z hlediska toku vyrobené energie do sítě, to nejvíce záleží na stupni nabití baterie (když je nabitá, nemůžeme do ní ukládat elektrickou energii) a aktuální spotřebě. Pokud stále svítí Slunce, elektrárna vyrábí a objekt není schopen tuto elektrickou energii uložit do akumulátoru nebo aktuálně spotřebovat, nezbyvá nic jiného než ji poslat do sítě. Jak lze vidět z tabulky 7-5 i grafu 7-5, během zimních měsíců byl tento příspěvek v lednu 3,38 % a v únoru 9,88 %. V jarních měsících už je tato hodnota vyšší, zejména v dubnu, kdy do sítě přeteklo 35 % vyrobené elektrické energie z FVE. Důvod toho už jsem zmiňoval výše, v druhé polovině dubna bylo téměř každý den jasno a elektrárna vyráběla až na dvě výjimky každý den kolem 150 kWh, což nebylo v silách objektu

spotřebovat. Každý den se sice nějaká část uložila do baterie, ale ta dokáže uchovat maximálně kolem 40 kWh, což je čtvrtina celkové výroby.

Obr. 7-5 Grafické rozdělení výroby elektrické energie z FVE v roce 2019



Obr. 7-6 Grafické znázornění rozdělení spotřeby objektu v roce 2019



Z hlediska okamžité spotřeby energie vyrobené FVE jsou na tom lépe zimní měsíce, kdy v lednu bylo spotřebováno ihned téměř 72 % a v únoru necelých 55 % vyrobené elektrické energie. V březnu i dubnu se tato čísla pohybovala kolem 40 %, hlavně kvůli zmiňované vysoké výrobě a neschopnosti všechnu energii spotřebovat. V první půlce května (i kvůli horšímu počasí) se ovšem podíl spotřeby z vyrobené energie zvýšil na 52 %.

Z posledního obrázku 7-6 můžeme vidět, že ačkoliv je objekt v zimních měsících napájen většinou ze sítě, od jarních měsíců již narůstá podíl fotovoltaické elektrárny. Pro jarní měsíce tento podíl postupně stoupá přes 45 % celkové spotřeby v březnu až po hodnoty lehce přes 60 % v dubnu a květnu. Z baterie poté objekt odebírá v jarních měsících 22 až 23 procent celkové spotřeby. Ze sítě tedy odebíral v březnu 31 % a poté v následujících měsících pouze 14,6 % v dubnu, resp. 13,6 % v květnu.

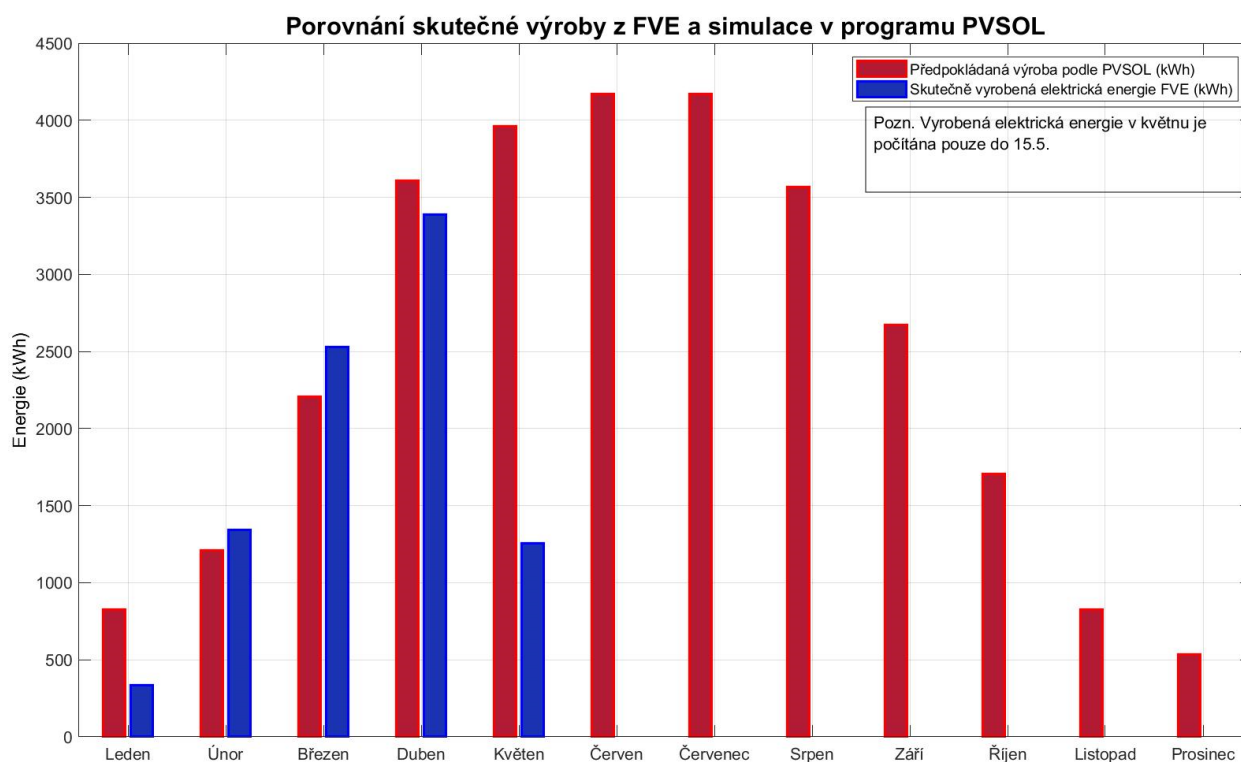
7.3 Porovnání výroby FVE se simulací

Před každým návrhem fotovoltaické elektrárny je názorně vytvořen model, který předpoví, kolik vyrobí navržená elektrárna energie. Tato simulace byla provedena v programu PV SOL.

Tento návrh může být velice přesný, protože lze zvolit geografické umístění, rozměry střechy, její orientaci a přesně také rozmístit panely, včetně jejich sklonu a přesného typu. Do programu tedy byla vytvořena střecha podle dostupného výkresu, umístěna do Zlína, sklon panelů nastaven na 13° a jejich typ Winaico WSP-310M6.

Po ukončení návrhu a výpočtu program vygeneroval soubor s předpokládanou výrobou z FVE po celý rok. Jelikož je elektrárna v provozu teprve od listopadu, ze začátku provozu se ještě ladily různé věci, v listopadu se vyměňoval poškozený nabíječ Victron Energy, budou pro porovnání použita data až od začátku roku 2019. Lepší vyhodnocení přesnosti simulace tedy bude až kolem konce roku 2019, kdy bude známa výroba z každého měsíce.

Obr. 7-7 Porovnání výroby z FVE ze simulace PVSOL se skutečnými hodnotami



Na obrázku 7-7 tedy můžeme vidět porovnání skutečně vyrobené elektrické energie z fotovoltaické elektrárny (modře) a hodnot předpokládaných ze simulace programu PVSOL. V lednu můžeme vidět výrobu 2 a půl krát menší než předpokládanou, což bylo z důvodu častého sněžení a jen pár slunečných dnů. Další měsíce už jsou hodnoty simulace se skutečnými velmi podobné, chyby se pohybují jen v rámci jednotek procent. Z toho pro měsíce únor a březen je skutečná výroba vyšší o 9,7 %, respektive o 12,8 %. V dubnu jsou simulované hodnoty vyšší než skutečné o necelých 6,5 %. Pro měsíc květen jsou brány jen hodnoty do jeho půlky, takže by zde porovnání nebylo korektní.

V následující tabulce poté můžeme číselně vidět porovnání hodnot skutečné a hodnoty vypočítané simulací.

Tab. 7-6 Porovnání skutečné výroby FVE a hodnot simulovaných v programu PVSOL

Energie vyrobená FVE			
Měsíc	Simulace PV SOL	Skutečné hodnoty	Chyba
	(kWh)	(kWh)	(%)
Leden	827,41	335,86	146,36
Únor	1209,90	1339,81	-9,70
Březen	2204,90	2529,15	-12,82
Duben	3609,20	3389,63	6,48
Květen	3960,10	*1255,79	-
Červen	4172,20	-	-
Červenec	4170,20	-	-
Srpen	3568,50	-	-
Září	2671,90	-	-
Říjen	1706,40	-	-
Listopad	826,59	-	-
Prosinec	533,56	-	-

*data z května jsou brány pouze do 15.5.

8 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ V PROGRAMU PV SOL

I pro ekonomické zhodnocení byl použit model v programu PV SOL. Jedná se o výpočet, zda se nám vůbec vyplatí stavba fotovoltaické elektrárny, popřípadě za jak dlouho se vrátí investice.

8.1 Výkaz výměr

Před kapitolou o výpočtu návratnosti FVE je zde ještě pro představu zahrnuta kapitola, kde jsou vypsány ceny nejdůležitějších položek instalace FVE, včetně elektromontážních prací nebo technické dokumentace s částkou. V tabulce 8-1 je uveden soupis po skupinách. Čísla vlevo v tabulce poté odpovídají číslům v tabulce 8-2, aby byl přehled, jaké položky patří do dané skupiny.

V tabulce 8-1 můžeme vidět nejdůležitější položky, které byly čerpány z dokumentu firmy NWT, a.s. [14] Můžeme vidět, že největší pořizovací cenu měly baterie, které přišly na 660 tis. Kč, FV panely, které stály přes 450 tis. Kč, následované hybridními měniči/nabíječi za 330 tis. Kč.

Tab. 8-1 Výkaz výměr vybraných položek [14]

Výpis vybraných položek					
Číslo	Položka	Jednotka	Množství	Cena za jednotku	Součet
1	Fotovoltaický panel	ks	92	4 990,00 Kč	459 080,00 Kč
	Střídač pro FVE 15,0 kW	ks	2	57 000,00 Kč	114 000,00 Kč
	Konstrukce FV panelů	ks	92	1 750,00 Kč	161 000,00 Kč
	Montáž panelů, zapojení střídače	-	-	-	39 800,00 Kč
2	Solární kabely 1x6mm (černý a červený)	m	860	20,00 Kč	17 200,00 Kč
	Konektor MC4 a zástrčka se zámkem	ks	80	220,00 Kč	17 600,00 Kč
3	3f jistič 63 A	ks	1	1 500,00 Kč	1 500,00 Kč
	Úprava rozváděče, elektromontážní práce	hod	144	300,00 Kč	43 200,00 Kč
4	Silové kabely CYKY-J, CYKY-O	m	64	-	4 780,00 Kč
6	Rozváděč RAC	ks	1	20 000,00 Kč	20 000,00 Kč
	Rozváděč RDC	ks	1	15 000,00 Kč	15 000,00 Kč
7	Práce na střeše, ukončení kabelů	-	-	-	15 000,00 Kč
8	Kabelový žlab a jeho montáž	-	-	-	15 000,00 Kč
9	Projektová dokumentace	ks	1	75 000,00 Kč	75 000,00 Kč
	Doprava, manipulace s materiálem	-	-	-	15 000,00 Kč
	Inženýrská činnost	-	-	-	15 000,00 Kč
10	Hybridní měnič/nabíječ, špičkový výkon 15kW	ks	3	111 000,00 Kč	333 000,00 Kč
	Baterie Li-Ion	ks	6	110 000,00 Kč	660 000,00 Kč
	Systém měření a regulace	ks	1	145 000,00 Kč	145 000,00 Kč
	Rozváděč bateriové části elektrárny	ks	1	185 000,00 Kč	185 000,00 Kč

Tab. 8-2 Zjednodušený výkaz výměr [14]

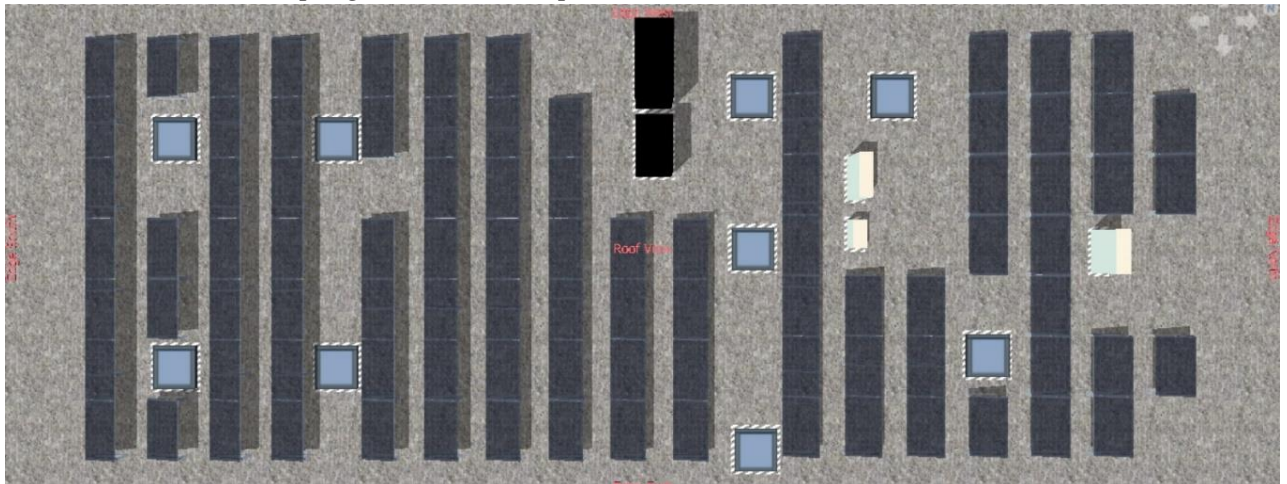
Zjednodušený výkaz výměr		
1	Energetické a tepelné zařízení	777 130,00 Kč
2	Elektromateriál	34 800,00 Kč
3	Doplnění rozváděče	44 700,00 Kč
4	Silové kabely	4 780,00 Kč
5	Vodiče, šňůry a měděné kabely	3 240,00 Kč
6	Rozváděče	35 000,00 Kč
7	Ukončení vodičů, soubory pro kabely	25 203,00 Kč
8	Kabelový žlab	7 520,00 Kč
9	Ostatní	105 000,00 Kč
10	Bateriový systém, řízení nabíjení a vybíjení	1 517 915,00 Kč
Celkem		2 555 288,00 Kč

V tabulce 8-2 výše lze vidět, že nejvyšší cenu měl bateriový systém, který zabral 60 % celkového rozpočtu. Na dalších 30 % poté přišla energetická a tepelná zařízení jako střídače a fotovoltaické panely. Další položky poté již byly jen v rámci procent z celkové částky.

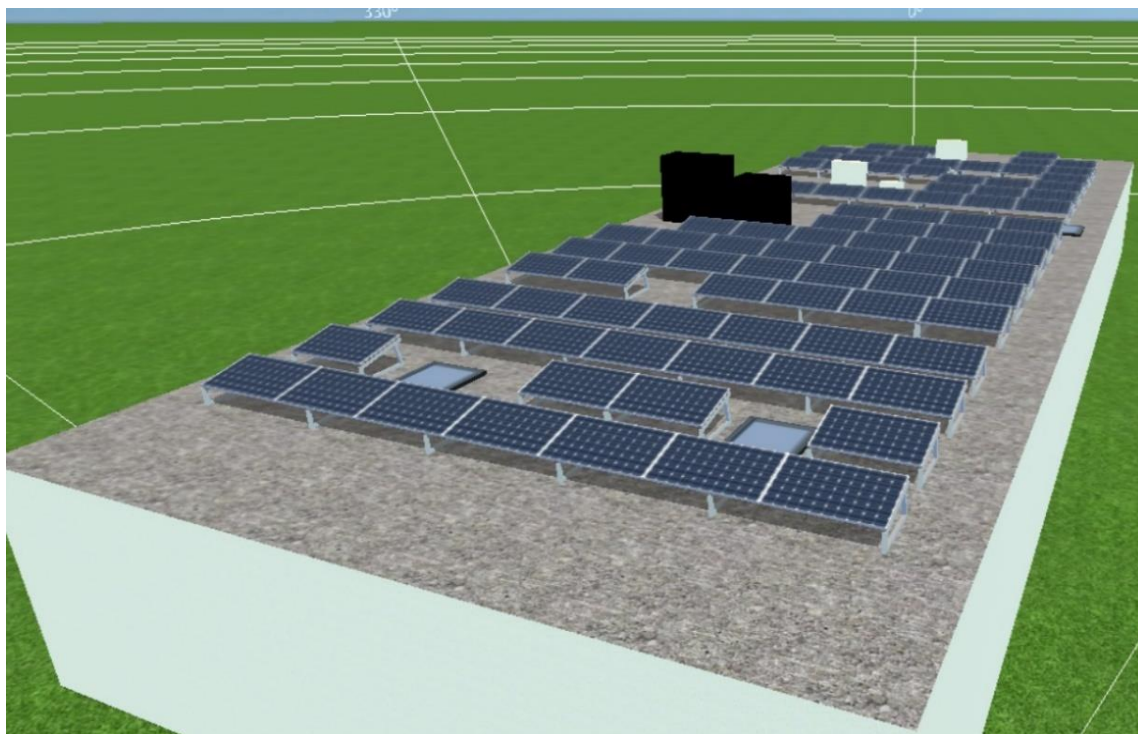
8.2 Model v programu PV SOL

V první řadě byla v programu nastavena přesná lokalita fotovoltaické elektrárny a samotné natočení budovy, která je asi 15 stupňů odchýlena od jihu. Poté už se mohlo přejít na samotnou střechu. Na ni byl vybrán typ fotovoltaických panelů (Winaico WSP-310M6), zaznačeno jejich posazení do konstrukce, sklon 13° a podle výkresové dokumentace, popřípadě fotografií bylo zakresleno jejich rozložení. Stejně byla poté znázorněna klimatizace (bíle), tepelné čerpadlo (znázorněno černě) a světlíky. Toto rozložení je názorně vidět na obrázcích 8-1 a 8-2.

Obr. 8-1 Model FVE v programu PV SOL (pohled shora)



Obr. 8-2 Model FVE v programu PV SOL (pohled z jihozápadní strany)



Po vytvoření grafického návrhu se v programu vybraly použité střídače, které byly stejné v obou případech, a to Fronius Symo 15.0.3-M. Nastavilo se podle skutečnosti, že první střídač má na starosti 2 stringy po 18 panelech s jedním MPPT plus ještě jeden string po 15 panelech s druhým MPPT. Druhý střídač má tedy zbylé stringy po 20 a 21 panelech. Rozložení je znázorněno barevně na obrázku 5-1.

8.3 Výpočet návratnosti s podporou v podobě dotace

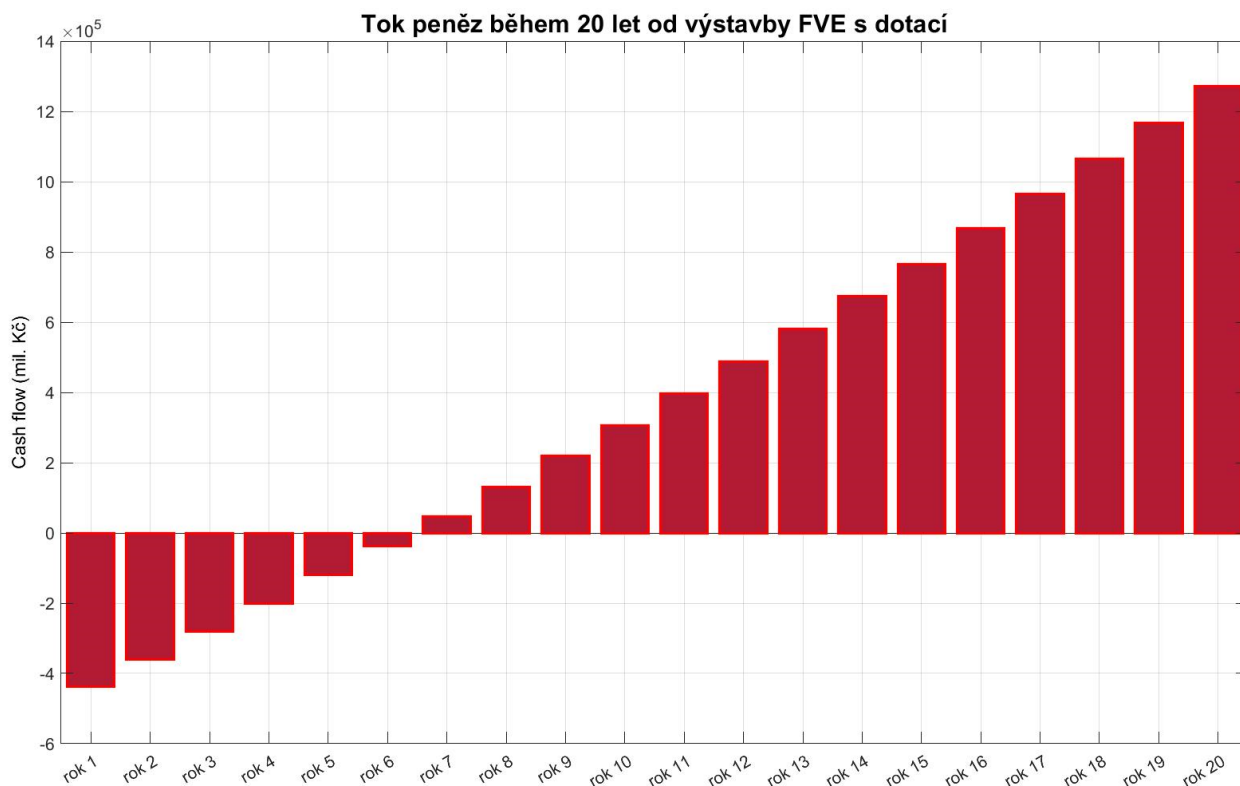
Po takto zakresleném návrhu už přišlo na řadu financování. Byly zadány celkové způsobilé náklady na výstavbu FVE, které byly rovny 2,555 mil. Kč. [14] Pro tento případ byla investice doplněna o dotaci ve výši 80 % celkových způsobilých nákladů, což se rovná 2,044 milionu korun, které připadly tomuto projektu. V programu byl vytvořen tarif s fixací na 20 let. Inflace byla zvolena vzhledem k růstu v posledních letech 2,5 %. [15]

Do simulace také byly zahrnuty provozní náklady v hodnotě 5000 Kč/rok, aby se alespoň lehce pokryly případné menší opravy. Důležitá byla také volba tarifu v simulaci. V našem případě má majitel uzavřenou smlouvu na sazbu C25d, která je určena pro odběrná místa s akumulacími spotřebiči a má operativní řízení doby platnosti nízkého tarifu. Toto vymezení je rovno minimálně osmi hodinám a je měněno distributorem. Ten však nemůže měnit toto pásmo úplně libovolně. Nejvíce lze toto osmihodinové pásmo rozdělit během dne na 3 úseky, z nichž žádný nemůže být kratší než 60 minut. Pouze jednou za rok může i sám odběratel požádat o rozdělení osmihodinového pásma nízkého tarifu na dvě části, kde žádná z nich nemůže být kratší než 3 hodiny. [16]

Velikost hlavního jističe je v objektu 63 A. Podle jeho velikosti lze poté vyčíst z orientační tabulky, že sazba C25d je výhodná do spotřeby objektu 38,723 MWh za rok. U našeho objektu se cena pohybuje kolem 2,75 Kč za jednu kilowatthodinu. Právě tahle smluvená cena je velmi důležitá z hlediska návratnosti. [16]

Po výpočtu, program vyhodnotil tok peněz (cashflow) během zvoleného intervalu (20 let). Výsledek lze vidět na obrázku 8-3.

Obr. 8-3 Cashflow pro FVE s dotací kolem 2 milionů



Lze z něj vyčíst, že s dotací je návratnost FVE necelých 7 let, kdy se cashflow vyhoupe do kladných čísel. Prvních 20 let se zisky pohybují od 78 000 Kč za jeden rok, poté už je v programu započítané stárnutí přístrojů a životnost fotovoltaických panelů. Zisky se díky inflaci, postupně zvyšují až na téměř 115 000 Kč za jeden kalendářní rok po zmiňovaných 20 letech, kdy je daný tarif definovaný. Celkově po 20 letech je zisk 1,271 mil. Kč.

8.4 Výpočet návratnosti bez dotace

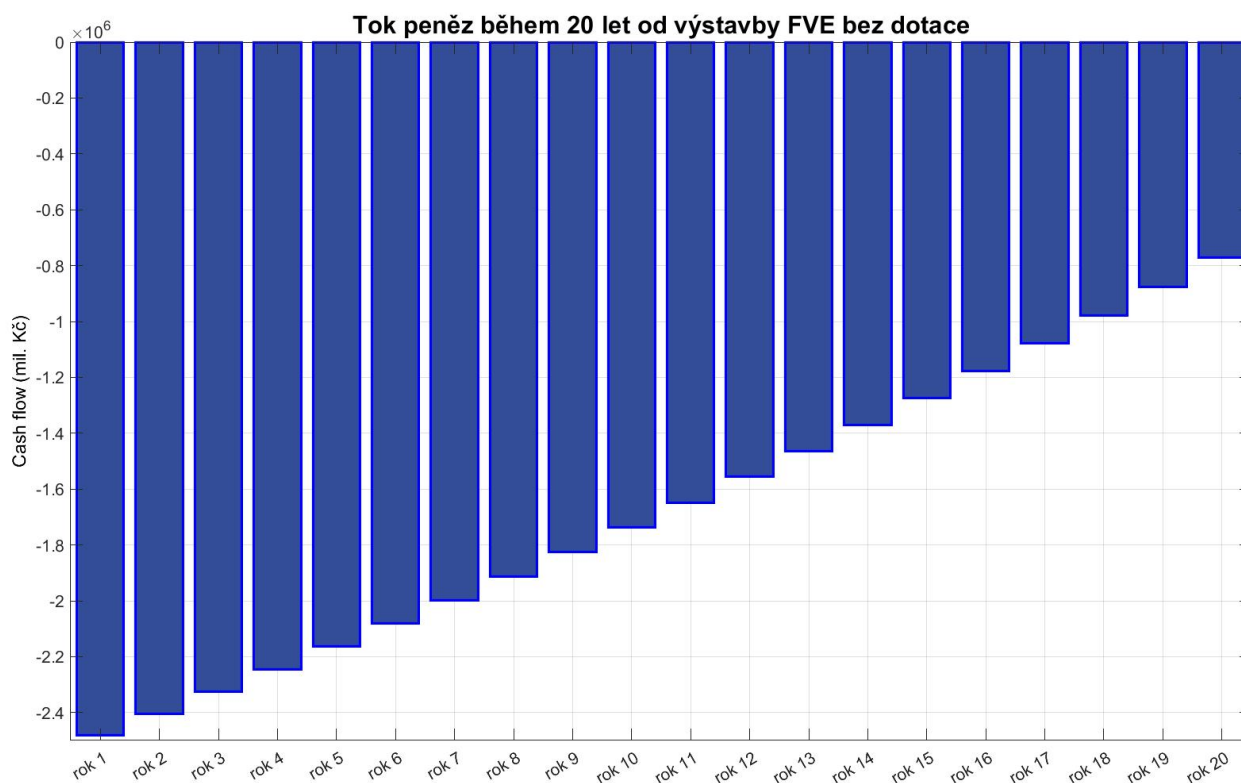
Pro výpočet návratnosti fotovoltaické elektrárny bez dotace se postupovalo úplně stejně, ovšem kolonka pro dotace se nechala prázdná. Podle toho taky vypadá graf toku peněz. Z obrázku 8-4 lze vidět, že po 20 letech od výstavby fotovoltaické elektrárny se cashflow pohybuje pořád v záporných hodnotách, a to na hodnotě 772 tisíc korun. Během 20 let FVE navíc dojde k určitému opotřebení střídačů, fotovoltaickým panelům bude klesat výkon na 80 % a v dalších letech budou postupně dosluhovat, což má za následek vynaložení dalších finančních prostředků. Elektrárna se tedy nemusí vůbec navrátit, takže by její stavba byla z finančního hlediska ztrátová.

Tab. 8-3 Číselné porovnání toku peněz pro FVE bez dotační podpory/s dotační podporou

Cashflow vygenerovaný pomocí programu PV SOL pro projekt s dotační podporou/bez podpory					
Doba	rok 1	rok 2	rok 3	rok 4	rok 5
S dotací	-437 077 Kč	-359 793 Kč	-281 216 Kč	-201 329 Kč	-120 111 Kč
Bez dotace	-2 481 077 Kč	-2 403 793 Kč	-2 325 216 Kč	-2 245 328 Kč	-2 164 111 Kč
Doba	rok 6	rok 7	rok 8	rok 9	rok 10
S dotací	-37 545 Kč	46 388 Kč	131 709 Kč	218 437 Kč	306 592 Kč
Bez dotace	-2 081 545 Kč	-1 997 612 Kč	-1 912 291 Kč	-1 825 563 Kč	-1 737 408 Kč
Doba	rok 11	rok 12	rok 13	rok 14	rok 15
S dotací	396 195 Kč	487 267 Kč	579 828 Kč	673 900 Kč	765 505 Kč
Bez dotace	-1 647 805 Kč	-1 556 733 Kč	-1 464 172 Kč	-1 370 100 Kč	-1 274 495 Kč
Doba	rok 16	rok 17	rok 18	rok 19	rok 20
S dotací	866 665 Kč	965 403 Kč	1 065 741 Kč	1 167 702 Kč	1 271 311 Kč
Bez dotace	-1 177 335 Kč	-1 078 597 Kč	-978 259 Kč	-876 298 Kč	-772 689 Kč

Z tohoto příkladu můžeme vidět, jak jsou dotace od státu velmi důležité, kde se návratnost několika násobně zkrátí, a navíc nemusí podnikatelé sami z vlastní kapsy platit obrovské částky jenom kvůli tomu, že chtějí větší soběstačnost svého podniku.

Obr. 8-4 Cashflow pro instalaci FVE bez dotační podpory



9 ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá analýzou fotovoltaické elektrárny, která zásobuje energií prodejnu sportovního oblečení, sklad a kanceláře v prvním podlaží.

V teoretické části jsem popisoval rozvoj fotovoltaiky, jak ve světě, tak u nás, na kterou navázala část o komponentech FV systému. V nich byly popisovány fotovoltaické články, střídače a poté také akumulátory. Poslední teoretickou částí poté byla kapitola o dotačním programu Výzva I. Programu podpory Úspory energie, řídicího orgánu Operačního programu podnikání a inovace pro konkurenceschopnost. Ten se týká právě našeho objektu.

V praktické části jsem poté vytvořil skripty na zpracování dat z online portálu Victron Energy, kde je možnost si dané veličiny stáhnout. Jako základ jsem bral načtení xls. souboru a přes postupné volby možností si člověk může zvolit jakou veličinu si chce zobrazit. Po výběru mu vyskočí dva grafy, kde jeden je pro zobrazí pro každou fázi zvlášť, další je pro všechny fáze dohromady. Podobný skript byl vytvořen i pro zpracování hodnot energie. Kde si může uživatel vybrat, zda by chtěl vidět průběh během například celého měsíce nebo poté souhrn různých toků energie ve sloupcových grafech. Skripty jsou přiloženy v příloze spolu se soubory z portálu Victron Energy.

Dalším bodem práce byl výpočet účinnosti přeměny sluneční energie na energii elektrickou. Na tento výpočet jsem využil data osvitů z meteorostanice ve Zlíně, která patří Univerzitě Tomáše Bati. Hodnoty účinností bylo pro měsíc leden 6,5 % a pro následující měsíce již mezi 12,4 % a 13,4 %. Účinnost panelů pro standardní testovací podmínky (STC) je 18,6 %. Nedosažení tak vysoké účinnosti má za důvod sklon panelů pouze 13° a také orientace budovy, která není přímo na jižní stranu, ale je posunuta asi o 15° západně.

V rámci práce byla porovnána výroba elektrické energie z několika dnů od začátku roku s různými klimatickými podmínkami. Z tohoto porovnání můžeme dojít k závěru, že pro téměř jasný den v zimě, kdy je teplota kolem bodu mrazu, vyrobí FVE přibližně 50 kWh za celý den. Pro jasný den na konci února, kdy teplota sahá ke 14 °C, je výroba lehce nad 100 kWh a pro jasný den na konci dubna to je již 172 kWh. Naopak pro zatažený den v půlce dubna je výroba jen lehce přes 20 kWh, což je pro porovnání energie, kterou elektrárna během jasného dne v dubnu vyrobí během jedné hodiny (mezi 12:00 a 13:00).

Dále byla zanalyzována výroba fotovoltaické elektrárny z hlediska toků energie od začátku roku 2019. V lednu byla výroba velmi malá, takže přes 90 % celkové spotřeby objektu bylo obstaráno ze sítě. Tento podíl se postupně s přibývajícím měsíci snižoval, v dubnu a začátku května pak dosáhl pouze hranice 15 %. Paralelně s tímto poklesem rostl podíl elektrické energie vyrobené fotovoltaickou elektrárnou na celkové spotřebě objektu. V měsících dubnu a půlce května byla spotřeba objektu ze 60 % zásobována fotovoltaickou elektrárnou. Ve druhé půlce dubna bylo dva týdny v kuse jasno a elektrárna tedy vyráběla denně přes 120 kWh, což mělo také za následek poměrně vysoký podíl energie, která otekla do sítě, jelikož baterie byla plně nabitá a objekt již tuto energii nedokázal spotřebovat. Ovšem i tak byla většina energie přímo využita k zásobování objektu.

Jelikož byl vytvořen model této fotovoltaické elektrárny v programu PV SOL, bylo také provedeno porovnání předpokládané výroby ze simulace s výrobou skutečnou, která byla zaznamenána monitoringem v prvních měsících roku 2019. Model byl vytvořen i se zabudovanými světly nebo klimatizací a tepelným čerpadlem na střeše. Hodnoty v měsíci lednu ze simulace byly

téměř 2,5x vyšší než skutečné, ovšem u ostatních měsíců se skutečné hodnoty vyrobené elektrické energie lišily pouze v jednotkách procent. Simulace se tedy zatím blíží skutečným hodnotám, které byly během prvních pár měsíců naměřeny.

Posledním bodem zadání této diplomové práce bylo vypočítat návratnost fotovoltaické elektrárny. Nejprve byl proveden výpočet s dotační podporou, která v našem případě dosáhla 80 % způsobilých výdajů (2,044 mil. Kč). Návratnost v prvním případě vyšla necelých 7 let. Po 20 letech byl celkový zisk roven 1,271 mil. korun. Nicméně, skutečná návratnost systému bude delší, protože jak již vyplývá z grafů v kapitole 7, určitá část energie není spotřebována, ani akumulována a odteče zpátky do sítě. Simulace totiž počítá s využitím nebo uložením veškeré vyrobené energie. Navíc, jak šlo vidět u výpočtu elektrické energie

Pro druhý případ, tedy výstavbu FVE bez dotační podpory, jsme se návratnosti do 20 let nedopočítali. Cashflow byl po této době pořád v mínusových hodnotách, konkrétně na hodnotě - 772 tis. korun.

Celkově lze z této simulace vidět, že bez dotační podpory by se stavba fotovoltaické elektrárny podnikatelům ani rodinám pořádně nevyplatila, jelikož by se jim investice vrátila až za několik desítek let. Proto je podpora od státu pro rozvoj obnovitelných zdrojů velmi důležitá, jelikož ne mnoho lidí má na účtu tak velké částky, navíc například s vidinou, že se jim elektrárna nemusí ani navrátit.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HASELHUHN, Ralf a Petr MAULE. Fotovoltaické systémy: energetická příručka : pro elektrikáře, techniky, instalatéry, projektanty, architekty, inženýry, energetiky, manažery, stavitele, studenty, učitele, ostatní odborné a profesní soukromé nebo veřejné instituce a zájemce o fotovoltaický obor a energetickou nezávislost. Plzeň: Česká fotovoltaická asociace, 2017. ISBN 978-80-906281-5-1.
- [2] Jak si vedla fotovoltaika a obnovitelné zdroje energie v roce 2017 v Česku?. *Solární novinky.cz* [online]. Dobrá: Solární novinky.cz, c2018, 22.10. 2018 [cit. 2018-11-22]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2018102201/jak-si-vedla-fotovoltaika-a-obnovitelne-zdroje-energie-v-roce-2017-v-cesku>
- [3] Battery Management Systems. *Outback Marine: Marine, Mobile and Off-Grid systems - Lithium batteries, electrical, electronics, refrigeration* [online]. Australia: Outback Marine, c2018 [cit. 2018-12-18]. Dostupné z: <https://www.outbackmarine.com.au/energy-storage/lithium-battery-systems/battery-management-systems/>
- [4] ČESKÁ REPUBLIKA. Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost 2014–2020: Výzva I. programu podpory Úspory energie Fotovoltaické systémy s/bez akumulace pro vlastní spotřebu. In: . Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2017, Výzva I. Dostupné také z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/podnikani/dotace-a-podpora-podnikani/oppik-2014-2020/vyzvy-op-pik-2017/2017/6/Uspory-energie I -Vyzva final 1.pdf>
- [5] Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost OPPIK. *Přehled dotací* [online]. Praha, 2014, 2014 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://www.prehleddotaci.cz/operacni-program/oppik/>
- [6] Fronius Symo: Maximum flexibility for the applications of tomorrow. *Fronius: Photovoltaics* [online]. Kingston, c2017-2018 [cit. 2018-11-16]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/en-gb/uk/photovoltaics/products/all-products/inverters/fronius-symo/fronius-symo-15-0-3-m>
- [7] Data Sheet - ESS 7.0/9.0/X. *BMZ Energy Storage Systems* [online]. Karlstein am Main: BMZ, c2018 [cit. 2018-11-22]. Dostupné z: https://www.bmz-group.com/dokumente/Datenblatt_Energy-Storage_EN_neu.pdf
- [8] Quattro Inverter/Charger: Lithium Ion battery compatible. *Victron Energy: Blue Power* [online]. Almere [cit. 2018-11-22]. Dostupné z: <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-Quattro-3kVA-15kVA-EN.pdf>
- [9] Využití technologií akumulace energie u podnikatelského objektu společnosti MAV Trading s.r.o. *Portál pro vhodné uveřejnění* [online]. Brno, c2016 [cit. 2018-11-16]. Dostupné z: <https://www.vhodne-uverejneni.cz/index.php?m=xenorders&h=order&a=detaildocumentsandimages&rwr=vyuziti-technologie-akumulace-energie-u-podnikatelskeho-objektu-spolecnosti-mav-trading-s-r-o>
- [10] *Data sheet WINAICO WSP-M6 PERC, monocrystalline*. Creglingen, c2018. Dostupné také z: <http://www.winaico.com/en/products/wsp-m6-perc-series-monocrystalline/>
- [11] MAV Trading s.r.o. *Victron Energy: Blue Power* [online]. Almere [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://vrm.victronenergy.com/installation/28025/dashboard>

-
- [12] Hodnoty osvitu z meteostanice: Leden - duben 2019. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, Zlín, 2019.
- [13] Archiv počasí. *E-Pocasi.cz* [online]. ePocasi.cz, c2002-2019, 2019 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <http://www.e-pocasi.cz/archiv-pocasi/2019>
- [14] Výkaz výměr: MAV Trading s.r.o. - fotovoltaická elektrárna s bateriovým systémem. Verze 26.10.2018. Zlín: NWT, 2018.
- [15] Inflace - 2019, míra inflace a její vývoj v ČR - 5 let. *Kurzycz* [online]. Praha: Kurzy.cz, spol. s r.o., AliaWeb, spol. s r.o., c2000-2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/makroekonomika/inflace/>
- [16] Přehled sazeb a cen distribuce elektřiny E.ON Distribuce, a.s.: Pro zákazníky kategorie C – Podnikatelé. *E.on Distribuce: Provozujeme distribuční síť elektřiny a plynu* [online]. České Budějovice: E.ON Distribuce, c2019, 2015 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: https://www.eon-distribuce.cz/sites/default/files/2018-09/EON_prehled_cen_a_sazeb_distribuce_20150101-2.pdf