



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

PROJEKT FVE KATEGORIE A1/A2

PV POWER PLANT PROJECT - CATEGORY A1/A2

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Timotej Pacalaj

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Morávek, Ph.D.

BRNO 2024



Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Timotej Pacalaj

ID: 240781

Ročník: 3

Akademický rok: 2023/24

NÁZEV TÉMATU:

Projekt FVE kategorie A1/A2

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Rešerše požadavků na připojení FV výroben kategorie A1/A2 do distribuční soustavy
2. Rešerše dostupné technologie a vhodných komponent
3. Návrh uspořádání FV systému s využitím dostupných SW nástrojů (např. PV SOL)
4. Tvorba projektové dokumentace, včetně technické zprávy, výkazu výměr a rozpočtu
5. Ekonomické zhodnocení projektu

DOPORUČENÁ LITERATURA:

doporučená literatura podle pokynů vedoucího závěrečné práce

Termín zadání: 5.2.2024

Termín odevzdání: 29.5.2024

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

prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Táto práca sa zaoberá návrhom fotovoltaického systému kategórie A1/A2 pre konkrétny objekt. Cieľom bolo splniť požiadavky investora a energetické potreby objektu, pričom sa zohľadnia špecifiká lokality. Práca zahŕňa rešerš požiadaviek na pripojenie FVE (PPDS-4, RfG), prehľad dostupných technológií a komponentov, a návrh systému pomocou softvéru PV* SOL. Práca zahŕňa aj tvorbu projektovej dokumentácie na úrovni pre realizáciu, vrátane technickej správy, jedнопólovej schémy a situačného výkresu. Okrem technických aspektov je v práci vykonané ekonomické zhodnotenie projektu, poskytujúce investorovi prehľad o návratnosti investície a finančnej efektívnosti FVE. Výsledkom je komplexný návod na návrh na realizáciu FVE kategórie A1/A2, zohľadňujúci technické a ekonomické aspekty.

Kľúčové slova

Pravidlá prevádzkovania distribučnej sústavy, návrh, fotovoltaická elektrárňa, PV-SOL, fotovoltaické panely, striedač, akumulátory, dotácie, ekonomická analýza

Abstract

This thesis deals with the design of a category A1/A2 photovoltaic system for a specific building. The aim was to meet the requirements of the investor and the energy needs of the building. The thesis includes a research of PV connection requirements (PPDS-4, RfG), a review of available technologies and components, and system design using PV* SOL software. The work also includes the production of project-level documentation for implementation, including a technical report, a single-pole schematic and a situation drawing. In addition to the technical aspects, an economic evaluation of the project is carried out in the thesis, providing the investor with an overview of the return on investment and financial efficiency of the PV plant. As a result, a comprehensive proposal for the implementation of a category A1/A2 PV plant is presented, taking into account both technical and economic aspects.

Keywords

Distribution system operation rules, design, photovoltaic power plant, PVSOL, photovoltaic panels, inverter, batteries, subsidies, economic analysis

Bibliografická citácia

Pacalaj, Timotej. Projekt FVE kategorie A1/A2 [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2024 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/159547>. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky, 2024. 65 s. Bakalárska práca. Vedúci práce: Ing. Jan Morávek Ph.D.

Vyhlásenie autora o pôvodnosti diela

Meno a priezvisko autora: Timotej Pacalaj
VUT ID autora: 240781
Typ práce: Bakalárska práca
Akademický rok: 2023/24
Téma záverečnej práce: Projekt FVE kategórie A1/A2

Vyhlasujem, že svoju záverečnú prácu som vypracoval samostatne pod vedením vedúcej/cého záverečnej práce, s využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej záverečnej práce ďalej vyhlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto záverečnej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona Českej republiky č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka Českej republiky č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora*

*Autor podpisuje iba v tlačenej verzii.

Podakovanie

Rád by som sa poďakoval vedúcemu bakalárskej práce Ing. Janovi Morávkovi Ph.D. za odborné vedenie, konzultácie, trpezlivosť a podnetné návrhy k mojej bakalárskej práci.

V Brne dňa:

podpis autora

Obsah

Úvod	12
1 Pravidlá a požiadavky na pripojenie FV výrobní A1/A2 do distribučnej sústavy	13
1.1 Rozsah platnosti	13
1.2 Rozdelenie do kategórií	14
1.3 Súhrnný prehľad požiadaviek prílohy 4 PPDS	14
1.4 Frekvenčné rozsahy a časové limity pre VM	15
1.4.1 Hodnota rýchlosti zmeny frekvencie (RoCoF)	15
1.5 Obmedzený frekvenčne závislý režim pri nadfrekvencií LFSM-O	16
1.6 Logické rozhranie pre prerušenie dodávky činného výkonu	16
1.7 Dovoľené zníženie činného výkonu pri klesajúcej frekvencií sústavy	17
1.8 Podmienky pre automatické pripojenie k sústave	18
1.9 Rozhranie pre zníženie činného výkonu	18
1.10 Zásady podpory siete	19
1.10.1 Statické riadenie napätia	19
1.10.2 Dynamická podpora siete	20
1.11 Opätovné pripojenie po poruche	22
1.12 Spôsoby riadenia jalového výkonu	23
1.13 Obnova činného výkonu po poruche	24
2 Fotovoltaické systémy	25
2.1 FVE kategórie A1	25
2.2 On-Grid systém	25
2.3 Off-Grid systém	25
2.4 Hybridné fotovoltaické systémy	26
2.5 Komponenty	27
2.5.1 Panely	27
2.5.2 Striedače	30
2.5.3 Akumulátory	32
2.6 Softwareové alternatívy pre návrh fotovoltaických systémov	35
2.6.1 PV*SOL	36
2.7 Možnosti dotácie	36
3 Návrh FVE	38
3.1 Varianty pre návrh	38
3.2 Popis objektu	40

3.3	3D návrh	40
3.4	Výber komponentov	41
3.4.1	Hybridný asymetrický menič a batérie	42
3.4.2	FV panely	43
3.4.3	Bezpečnosť a monitoring	44
3.5	Technické riešenie	44
3.5.1	Výpočty pre DC stranu	45
3.6	Energeticko-ekonomická analýza	46
3.6.1	Energetická analýza	46
3.6.2	Ekonomická analýza	49
3.6.3	Porovnanie návrhov	53
	Záver	58
	Literatúra	60
	Zoznam symbolov a skratiek	63
	Zoznam príloh	65
A	Návrhy FVE v software PV*sol	66
A.1	Pi 10-E9-Pg50-S	66
A.2	Pi 10-E9-Pg0-S	66
A.3	Pi 5-E9-Pg50-S	66
A.4	Pi 5-E9-Pg0-S	66
A.5	Pi 5-E4-Pg50-S	66
A.6	Pi 5-E4-Pg0-S	66
B	Technické dokumenty	67
B.1	Technická správa	67
B.2	Situačný výkres	67
B.3	Jednopolová schéma	67
B.4	Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory v podprogramu Nová zelená úsporám programu HOUSEnerg Modernizačního fondu	67
C	Datasheety/manuály ku komponentom	68
C.1	Datasheet panely	68
C.2	Datasheet menič	68
C.3	Manuál menič	68
C.4	Datasheet batérie	68
C.5	Manuál batérie	68

C.6	Datasheet Tigo-TS4-A-O	68
C.7	Manuál Tigo-TS4-A-O	68
C.8	Datasheet zdroju ku Tigo-TS4-A-O	68

Zoznam obrázkov

1.1	Schopnosť odozvy činného výkonu na zmenu frekvencie jendotiek na výrobu elektrickej energie[1]	16
1.2	Zníženie maximálneho výkonu pri klesajúcej frekvencií[1]	17
1.3	Požiadavky na dodávku /odber jalového výkonu výrobných modulov v sieti NN pri menovitom napätí [1]	19
1.4	Jalový výkon VM A1 A2 [1]	20
1.5	Jalový výkon VM A2,B1,B2 a C [1]	20
1.6	Časový priebeh napätia v mieste pripojenia za podmienok poruchy pre nesynchronný VM kategórie A1,A2,B1,B2 a C (FRT krivka) [1] .	21
1.7	Schopnosť preklenutia poruchy synchronných VM A1,A2 a B1 [1] . .	22
1.8	Charakteristika funkcie Q (U) [1]	23
2.1	Schéma ostrovného systému FVE [8]	26
2.2	Half-cut cell technológia [12]	28
2.3	Šindlová technológia [14]	29
2.4	V-A charakteristika a krivka výkonu [16]	30
2.5	Zapojenie invertorov vo FV systémoch (A- centrálny, B- reťazcový, C- modulový) [17]	32
2.6	Výroba elektrickej energie počas dňa [19]	33
2.7	Nabíjanie a vybíjanie Li-ion batérie [22]	34
3.1	3D návrh	40
3.2	Tienenie	41
3.3	Pospájanie FV panelov	41
3.4	G4 X3-Hybrid-10.0-D[26]	42
3.5	T-BAT H5.8 V2 (T58 Master+slave)[26]	43
3.6	Tigo TS4-A-O [27]	44
3.7	Toky energie	47
3.8	Využitie FV energie	48
3.9	Krytie celkovej spotreby	48
3.10	Cash flow	51
3.11	Komulovaný finančný tok Pi-10-E9-Pg50-S	52
3.12	Komulovaný finančný tok Pi-10-E9-Pg0-S	53
3.13	Komulovaný finančný tok Pi-5-E4-PG50-S	55
3.14	Komulovaný finančný tok Pi-5-E4-PG0-S	55
3.15	Komulovaný finančný tok Pi-5-E9-PG50-S	56
3.16	Komulovaný finančný tok Pi-5-E9-PG0-S	56

Zoznam tabuliek

1.1	Výkonové kategórie výrobní [1]	14
1.2	Súhrnný prehľad požiadaviek prílohy 4 PPDS [1]	14
1.3	Frekvenčné rozsahy podľa časového obdobia prevádzky a oblasti [1]	15
1.4	Parametre FRT krivky na Obr.1.6 [1]	21
1.5	Parametre FRT krivky na Obr.1.7 [1]	22
2.1	Účinnosť fotovoltaického systému v závislosti od sklonu a orientácie na svetovú stranu[13]	30
3.1	Tabuľka kombinácií návrhov	39
3.2	Spotreba energie v rôznych rokoch	40
3.3	Menič a batérie	42
3.4	Investície	49
3.5	Dotácie[25]	50
3.6	Investičné náklady	50
3.7	Zhrnutie návrhov	54
3.8	Investičné náklady [25]	54

Úvod

V súčasnej dobe, najmä v Európe ľudí čoraz viac trápí téma udržateľnosti a obnoviteľných zdrojov elektrickej energie. Naša spoločnosť teda hľadá udržateľné riešenia pre budúcnosť, ktoré by boli schopné nahradiť elektrárne, ktoré využívajú na výrobu elektrickej energie fosilné palivá ako uhlie, ropa alebo zemný plyn a tým produkujú veľké množstvo skleníkových plynov a ďalších škodlivých látok, ktoré majú negatívny vplyv na kvalitu ovzdušia, pôdy a vody. Fotovoltaické elektrárne predstavujú inovatívne a efektívne spôsoby ku získavaniu energie zo slnečného žiarenia na výrobu elektrickej energie a preto sú jedným z kľúčových riešení v prechode ku čistejšiemu a ekologicky priaznivejšiemu energetickému plánu. Ich výhodou sú najmä nízke emisie skleníkových plynov a dlhodobá udržateľnosť.

Cielom tejto práce je podrobne preskúmať a navrhnúť efektívnu fotovoltaickú elektráreň pre objekt kategórie A1/A2, ktorý bude spĺňať všetky požiadavky investora a zároveň bude aj dobre integrovaný do svojho okolia. Zároveň je cieľom ukázať, aké možnosti sú dnes pri inštalovaní fotovoltaickej elektrárne. Bude sa zaoberať možnosťami dnešných používaných technológií, či už hardwareových (fotovoltaické panely, striedače alebo akumulátory) ale aj softwareových (ako využitie programu PV*sol na projekciu FVE). Ďalej bude práca poukazovať aj na využitie dotácií, ktoré je možné čerpať z Európskej únie a ako veľmi dokážu inštaláciu zvýhodniť.

Práca sa bude teda zaoberať kompletným projektovaním FVE, od spísania podmienok na inštaláciu PPDS-4/RfG a výberu umiestnenia, cez návrh usporiadania FV systému, tvorbou projektovej dokumentácie v rámci technickej správy, výpočtov a následného celkového rozpočtu a ekonomického zhodnotenia FVE.

1 Pravidlá a požiadavky na pripojenie FV výrobní A1/A2 do distribučnej sústavy

Pri navrhovaní elektrárne, ktorá má byť následne pripojená do distribučnej siete, je veľmi dôležité, aby boli dodržané pravidlá podľa PPDS-4. Je to dokument, kde sú definované pravidlá a podmienky pre pripojenie do distribučnej siete nn,vn alebo 110kV. Pri každom návrhu alebo prevádzkovaní elektrárne je teda dôležité dodržiavať platné normy ČSN, nariadenia a smernice PDS a mnoho ďalšieho. [1]

1.1 Rozsah platnosti

Tieto pravidlá platia pre plánovanie, zariadenie a úpravy výrobní elektrickej energie pripojených ku sieťam nn,vn alebo 110kV.

Medzi takéto výrobné patria napríklad:

- vodné elektrárne
- veterné elektrárne
- fotočlánkové zariadenia
- geotermálne elektrárne
- generátory poháňané tepelnými strojmi

Platnosť týchto pravidiel sa teda vzťahuje na:

1. výrobné s akumuláciou energie
2. samostatne pripojené elektrické akumulčné zariadenia
3. odberné elektrické zariadenia
4. predávacie miesta lokálnych distribučných sústav s výrobnami elektriny bez akumulčných zariadení a s akumulčným zariadením

Tieto pravidlá sa ale nevzťahujú na VM, ktoré boli inštalované za účelom poskytovania záložnej elektriny a sú prevádzkované paralelne so sústavou kratšie ako 5 minút v každom kalendárnom mesiaci. [1]

1.2 Rozdelenie do kategórií

Výrobne elektrickej energie môžu spadať do štyroch kategórií podľa inštalovaného výkonu

Tab. 1.1: Výkonové kategórie výrobní [1]

Kategória výrobného modulu	Limit	Podkategória	Hranica PDS
A	800W	A1	≥ 800 W;
			≤ 11 kW
		A2	> 11 kW;
			< 100 kW
B	1 MW	B1	≥ 100 kW;
			< 1 MW
		B2	≥ 1 MW;
			< 30 MW
C	50 MW	C	≥ 30 MW;
			< 75 MW
D	75 MW	D	≥ 75 MW

1.3 Súhrnný prehľad požiadaviek prílohy 4 PPDS

Tento súhrnný prehľad graficky znázorňuje všetky požiadavky, ktoré musia byť splnené pre danú výkonovú kategóriu. V tejto práci je primárny záujem o kategórie A1/A2, ktoré sú v Tab. 1.2

Tab. 1.2: Súhrnný prehľad požiadaviek prílohy 4 PPDS [1]

Článok RfG	Požiadavky RfG	Typ výrobného modulu	
		A1	A2
13.1a	Frekvenčné rozsahy a časové limity pre VM	X	X
13.1b	Hodnota rýchlosti zmeny frekvencie (RoCoF)	X	X
13.2.	Obmedzene frekvenčne závislý režim pri nadfrekvencií (LFSM-O)	X	X
13.4; 13.5	Dovolené zníženie činného výkonu pri klesajúcej frekvencií sústavy	X	X
13.6.	Logické rozhranie pre prerušenie dodávky činného výkonu	X	X
13.7.	Podmienky pre automatické pripojenie k sústave	X	X
14.2.	Rozhranie pre zníženie činného výkonu		X
14.3.	Prekvetenie poklesu napätia (FRT)	X	X
14.4.	Opätovné pripojenie po poruche		X
20.2a	Dodávka jalového výkonu u nesynchronných VM		X
20.3.	Obnova činného výkonu po poruche		X

1.4 Frekvenčné rozsahy a časové limity pre VM

1. Jednotky určené na výrobu elektrickej energie kategórie A musia spĺňať nasledovné požiadavky na udržanie stability frekvencie.

(a) Frekvenčné rozsahy:

- i. každá jednotka na výrobu elektrickej energie musí byť schopná zostať pripojená do sústavy a fungovať v rámci frekvenčných rozsahov a časových období uvedených v Tab.1.3 [1]

Tab. 1.3: Frekvenčné rozsahy podľa časového obdobia prevádzky a oblasti [1]

Synchronná oblasť	Frekvenčný rozsah	Časové obdobie prevádzky
Kontinentálna Európa	47,5 Hz - 49,0 Hz	Stanoví každý PPS, najmenej 30 minút
	48,5 Hz - 49,0 Hz	Stanoví každý PPS, ale najmenej tak, ako pri rozsahu 47,5 Hz – 48,5 Hz
	49,0 Hz - 51,0 Hz	Neobmedzené
	51,0 Hz - 51,5 Hz	30 minút

- ii. Prevádzkovateľ sústavy sa v spolupráci s príslušným PPS a vlastníkom zariadenia na výrobu elektrickej energie môže dohodnúť na iných frekvenčných rozsahoch, dlhších minimálnych časoch alebo na osobitných požiadavkách na kombinované odchýlky frekvencie a napätia.[1]
- iii. „Vlastník zariadenia na výrobu elektrickej energie nesmie bezdôvodne odoprieť súhlas s uplatňovaním väčších frekvenčných rozsahov alebo dlhších minimálnych časov prevádzky pri zohľadnení ich ekonomickej a technickej uskutočniteľnosti.“ [1]

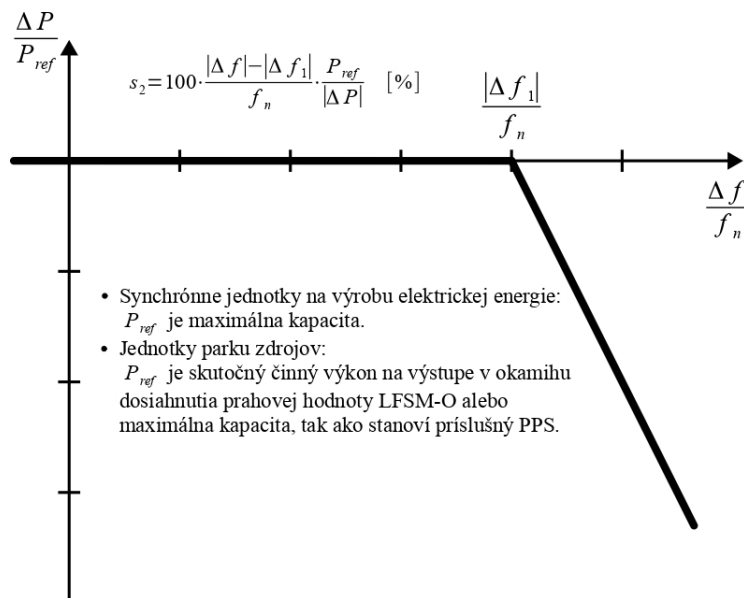
(b) Zariadenie na výrobu elektrickej energie musí byť schopné zvládať zmeny rýchlosti frekvencií až do takej hodnoty, akú stanoví príslušný PPS, s výnimkou na odpojenie od sústavy pôsobením ochrany pri strate napájania zo sústavy v dôsledku rýchlosti zmeny frekvencie. [1]

1.4.1 Hodnota rýchlosti zmeny frekvencie (RoCoF)

RoCoF v angličtine rate of change of frequency hovorí o tom, že výrobné moduly kategórií A1,A2,B1,B2,C a D sa v prípade časovej zmeny frekvencie siete do hodnoty +/- 2Hz nesmú samovoľne odpojiť od siete. „Pričom RoCoF je meraná ako stredná hodnota derivácie frekvencie v časovom intervale 500ms“ [1] Tab. 2.1 platí aj pre výrobné do 800 W avšak RoCoF nie je povinná.[1]

1.5 Obmedzený frekvenčne závislý režim pri nadfrekvenciách LFSM-O

1. Jednotka na výrobu elektrickej energie musí byť schopná aktivovať poskytovanie odozvy činného výkonu na zmenu frekvencie podľa Obr. 1.1



Obr. 1.1: Schopnosť odozvy činného výkonu na zmenu frekvencie jednotiek na výrobu elektrickej energie[1]

2. Hraničná hodnota frekvencie musí byť od 50,2 Hz do 50,5 Hz vrátane
3. Nastavenia statiky musia byť od 2% do 12%
4. Jednotka na výrobu elektrickej energie musí byť schopná aktivovať frekvenčnú odozvu výkonu s čo najkratším počiatočným oneskorením. Ak toto oneskorenie trvá dlhšie ako dve sekundy, vlastník zariadenia na výrobu elektrickej energie ho musí odôvodniť a poskytnúť príslušnému PPS technickú dokumentáciu.
5. Príslušný PPS môže požadovať, aby pri dosiahnutí minimálnej regulačnej úrovne výrobná jednotka bola schopná:
 - pokračovať v prevádzke na tejto úrovni
 - ďalej znižovať činný výkon na výstupe[1]

1.6 Logické rozhranie pre prerušenie dodávky činného výkonu

Pre bezpečnú prevádzku musia mať výrobné elektriny do 1MW vrátane podkategórie A1/A2 logické rozhranie, ktoré musí byť do 5 sekúnd od obdržania pokynu na

vstupnom porte schopné prerušiť dodávku činného výkonu na výstupe.

Výrobne elektriny s VM A2 a vyššie majú povinnosť byť vybavené logickým rozhraním umožňujúcim začlenenie týchto energetických zariadení do systému diaľkového riadenia PDS. Ide o:

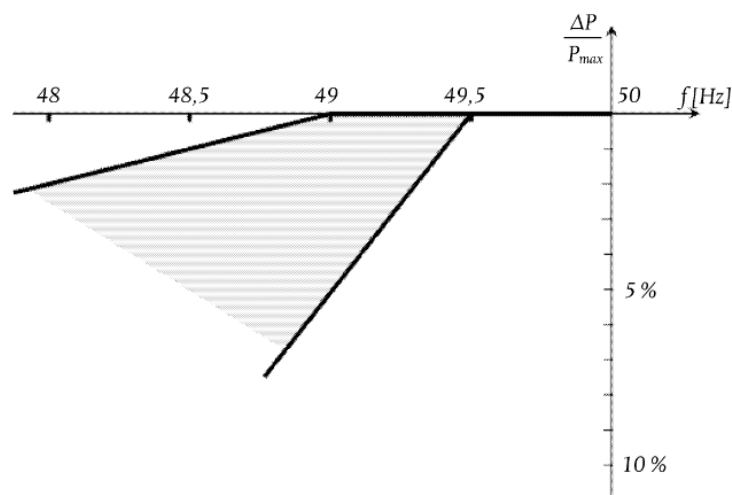
- Riadenie spínača s oddeľovacou funkciou (diaľkové vypnutie/zapnutie)
- Obmedzenie dodávaného činného výkonu
- Riadenie jalového výkonu a napätia
- Rozhranie pre prenos dát[1]

1.7 Dovoľené zníženie činného výkonu pri klesajúcej frekvencii sústavy

Zariadenie na výrobu elektrickej energie musí byť schopné udržať konštantný výkon bez ohľadu na zmeny frekvencie.[1]

„Príslušný PPS stanoví povolené zníženie činného výkonu z hodnoty maximálneho výkonu s klesajúcou frekvenciou vo svojej regulačnej oblasti ako mieru zníženia v rámci hraníc zobrazených plnými čiarami na Obr. 1.2:

- pod 49 Hz: pokles o 2 % maximálnej kapacity pri 50 Hz na 1 Hz poklesu frekvencie
- pod 49,5 Hz: pokles o 10 % maximálnej kapacity pri 50 Hz na 1 Hz poklesu frekvencie“[1]



Obr. 1.2: Zníženie maximálneho výkonu pri klesajúcej frekvencii[1]

1.8 Podmienky pre automatické pripojenie k sústave

Automatické pripojenie je povolené, pokiaľ príslušný PDS v spolupráci s príslušným prevádzkovateľom prenosovej sústavy neudelí odlišné opatrenia a pokiaľ PDS nezažadoval znovupripojenie z dôvodu riadenia činného výkonu v závislosti na aktuálnych prevádzkových podmienkach.

Pre výrobné kategórie A1, A2, B1, B2 a C a zdroje do 800 W, ktoré boli odpojené zo siete z dôvodu odchýlky napätia alebo frekvencie je možnosť automatického pripojenia k DS podľa nasledujúcich kritérií:

1. Napätie a frekvencie sú po dobu 300 s v medziach
 - (a) Napätie 85-110% menovitej hodnoty
 - (b) Frekvencie 47,5-50,05 Hz
2. Postupne rozbehnuté na výkon od nuly s gradientom maximálne 10% menovitého výkonu za minútu

Ak výrobná nie je schopná postupného rozbehnutia podľa bodu 2., tak sa výrobná pripojí do DS po dobe, ktorú stanoví PDS v intervale 0-20 minút.[1]

1.9 Rozhranie pre zníženie činného výkonu

Výrobné elektriny s VM kategórie A2 a B1 a aj akumuláčn é zariadenia musia byť vybavené rozhraním, aby bolo možné zníženie činného výkonu. PDS môže vyžadovať zmenu činného výkonu v prípade:

1. potencionálneho ohrozenia bezpečnej prevádzky systému
2. stavu blackoutu alebo stavu obnovy
3. nutné prevádzkové práce
4. nárast frekvencie ohrozujúcej systém
5. ohrozenie statickej alebo dynamickej stability
6. nebezpečie vzniku ostrovnej prevádzky
7. údržba alebo konanie stavebných prác na zariadení DS alebo v jeho blízkosti

V takýchto prípadoch ma PDS právo dávať pokyny pre znižovanie činného výkonu na požadovanú hodnotu. Pri požiadavke na zníženie výkonu (napr. na 60, 30 a 0% inštalovaného výkonu u FVE) musí byť vyhovené bezodkladne do maximálne jednej minúty. Zároveň musí byť technicky možné zníženie až na 0% bez automatického odpojenia celej siete.[1, 2]

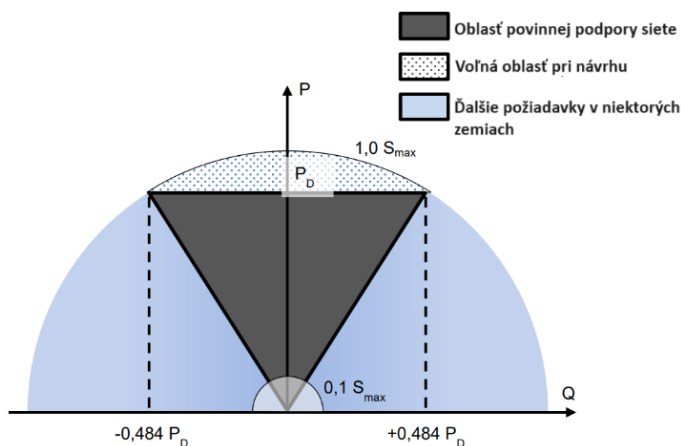
1.10 Zásady podpory siete

Výrobne elektrickej energie, ktoré majú pretoky do siete, sa musia podieľať na udržiavaní napätia. Hodnoty a charakteristiky pre podporu siete udáva PDS. Na dodržiavanie zadaných hodnôt slúži automatické riadenie vo výrobni.[1]

1.10.1 Statické riadenie napätia

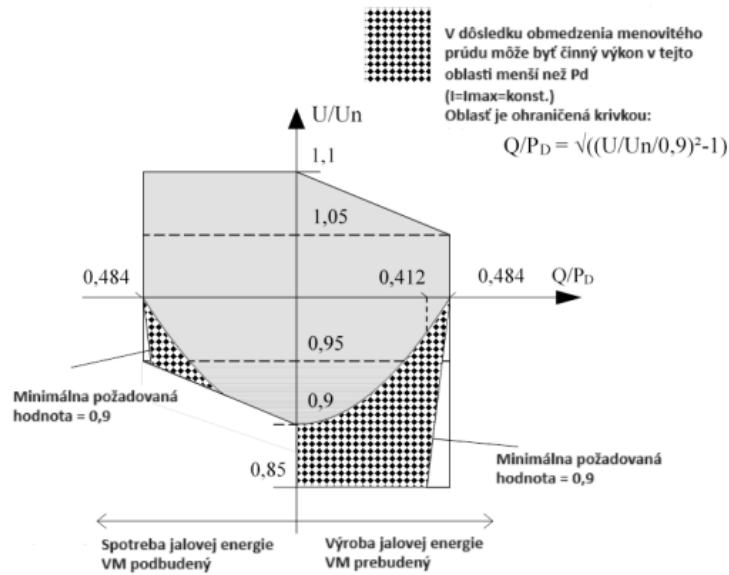
„Statické udržiavanie napätia v sieti je udržiavanie napätia v zmluvne stanovených medziach za normálnej prevádzky v sieti pri pomalých zmenách napätia.“[1]

V prípade, že prevádzkové podmienky v elektrickej sieti to vyžadujú a PDS túto požiadavku uplatní, tak musí výrobné zariadenie aktívne prispievať k udržiavaniu statickej úrovne napätia. Toto prispievanie sa odohráva prostredníctvom regulácie jalového výkonu, ktorý je v rozsahu medzi 0,9 kapacitný a 0,9 induktívny.[1]



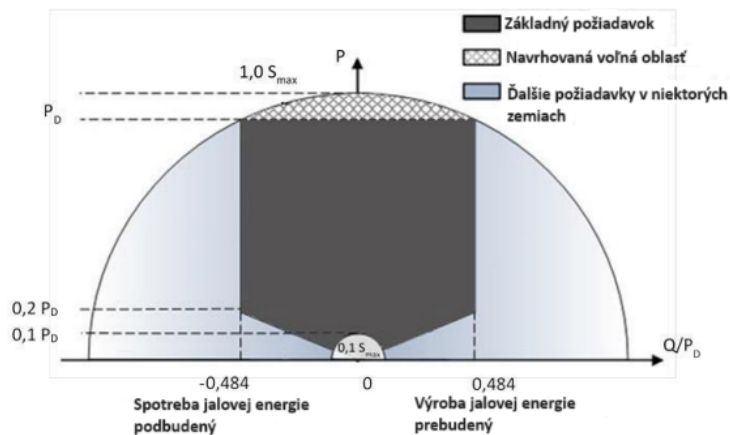
Obr. 1.3: Požiadavky na dodávku /odber jalového výkonu výrobných modulov v sieti NN pri menovitom napätí [1]

V prípade, že sú napätia odlišné od menovitého ale v medzi rozsahu napätia pre trvalú prevádzku, sú vedené medze pre minimálne požiadavky pre VM A1, A2 na Obr.1.4



Obr. 1.4: Jalový výkon VM A1 A2 [1]

Pre synchronne VM kategórie A2,B1,B2,C pripojene do siete vn 110kV je na Obr.1.5 grafické znázornenie minimálnych a nepovinných požiadaviek dodávky/ odberu jalového výkonu pri menovitom napätí.[1]



Obr. 1.5: Jalový výkon VM A2,B1,B2 a C [1]

„Voľbu spôsobu regulácie jalového výkonu vrátane rozsahu určuje PDS v technických podmienkach pripojenia.“ [1]

1.10.2 Dynamická podpora siete

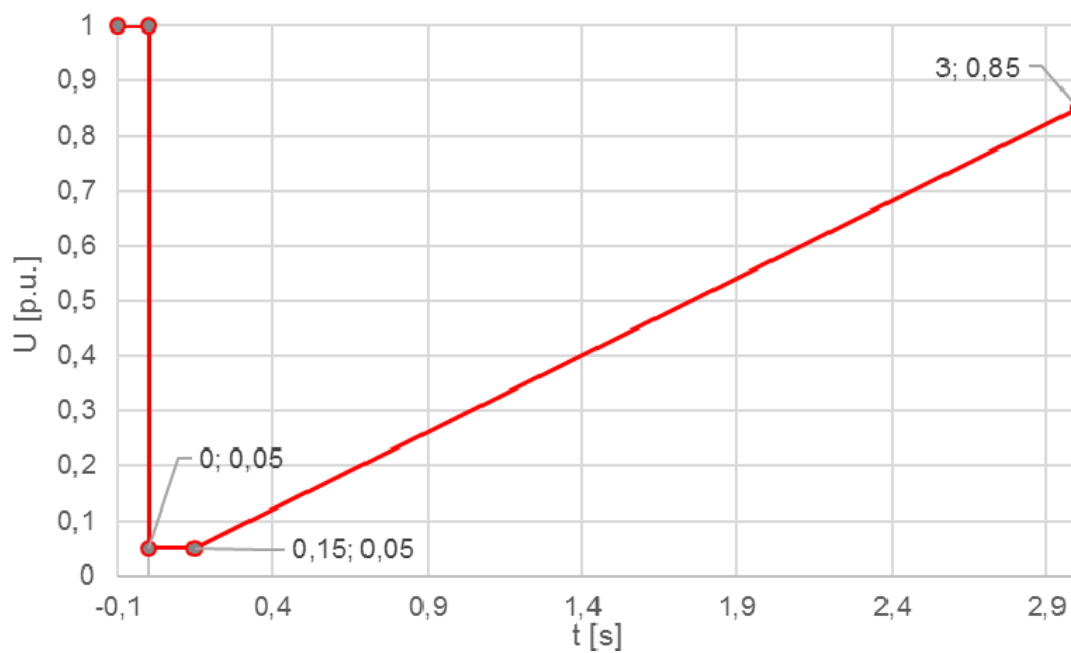
Dynamická podpora siete je udržiavanie napätia pri jeho poklese v sieťach vvn a zvz tak, aby nedošlo k odpojeniu výkonov napájacích sietí mn,vn a rozpadu siete. Z

tohto dôvodu sa výrobné v sieťach nn,vn a 110 kV podieľajú na podpore dynamickej siete. To v praxi znamená, že pri poruchách v sieti, pri ktorých dochádza k poklesu napätia, musia byť technicky schopné zostať naďalej pripojené.[1]

Pre nesynchronné VM kategórie A1,A2,B1,B2 a C je definovaná FRT krivka Obr.1.6 V prípade, že sa bude napätie nachádzať pod touto definovanou FRT krivkou, tak sa VM v tomto prípade môže odpojiť. Inak sa ale odpojiť nesmie.[1]

Tab. 1.4: Parametre FRT krivky na Obr.1.6 [1]

t [s]	U[p.j.]
0-0.15	0.05
3	0.85

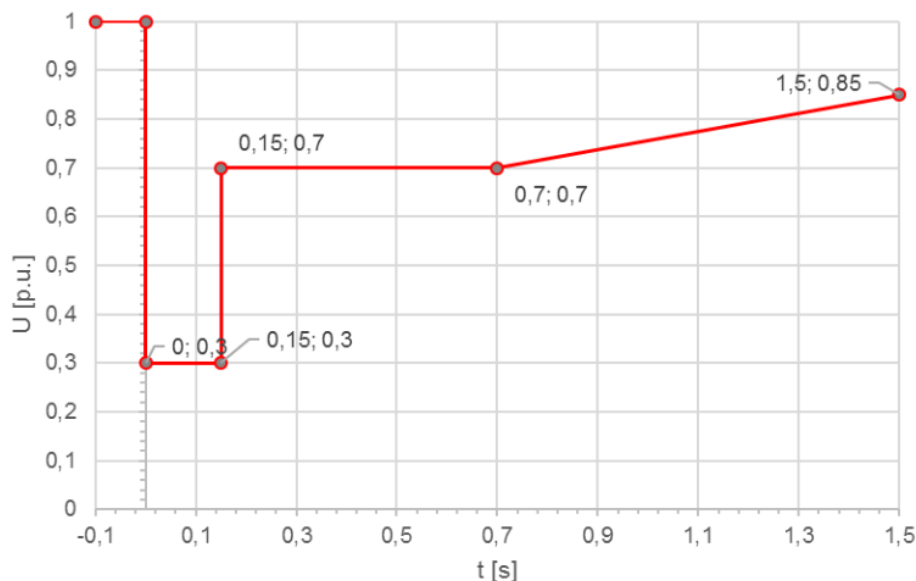


Obr. 1.6: Časový priebeh napätia v mieste pripojenia za podmienok poruchy pre nesynchronný VM kategórie A1,A2,B1,B2 a C (FRT krivka) [1]

Pre synchronné VM kategórie A1,A2 a B1 platí opäť FRT krivka zobrazená na Obr.1.7 V prípade, že sa napätie bude nachádzať pod definovanou krivkou, tak sa môže VM odpojiť. Inak sa ale odpojiť nesmie.[1]

Tab. 1.5: Parametre FRT krivky na Obr.1.7 [1]

t [s]	U[p.j.]
0-0.15	0.3
0.15	0.7
0.15-0.7	0.7
1.5	0.85



Obr. 1.7: Schopnosť preklenutia poruchy synchronných VM A1,A2 a B1 [1]

1.11 Opätovné pripojenie po poruche

Výrobné moduly kategórie A2, B1, B2, C a D musia spĺňať tieto požiadavky týkajúce sa obnovy prevádzky sústavy.

1. Príslušný prevádzkovateľ prenosovej sústavy stanoví podmienky, za ktorých sa výrobný modul môže naspäť pripojiť do sústavy po odpojení spôsobeným poruchou v sústave.
2. Pre automatické pripojenie VM do sústavy je potrebné schválenie od príslušného prevádzkovateľa prenosovej sústavy, kde podlieha daným podmienkam.

Podmienky, pri ktorých sa VM môžu opätovne pripojiť do sústavy po odpojení spôsobenom poruchou v sústave:

1. Napätový rozsah: 85-110% U_c v mieste pripojenia
2. Frekvenčný rozsah: $47,5 \text{ Hz} < f < 50,05 \text{ Hz}$
3. Minimálna doba, počas ktorej musí byť frekvencia a napätie uvedené v bodoch

nad, je 300 sekúnd

4. Gradient činného výkonu $<10\%$ z P_n/min

Automatické pripojenie do siete je ale možné iba v prípade ak došlo k odstráneniu poruchy, ktorá odpojenie spôsobila. Pre výrobné moduly kategórie D je automatické pripojenie zakázané.[1, 3]

1.12 Spôsoby riadenia jalového výkonu

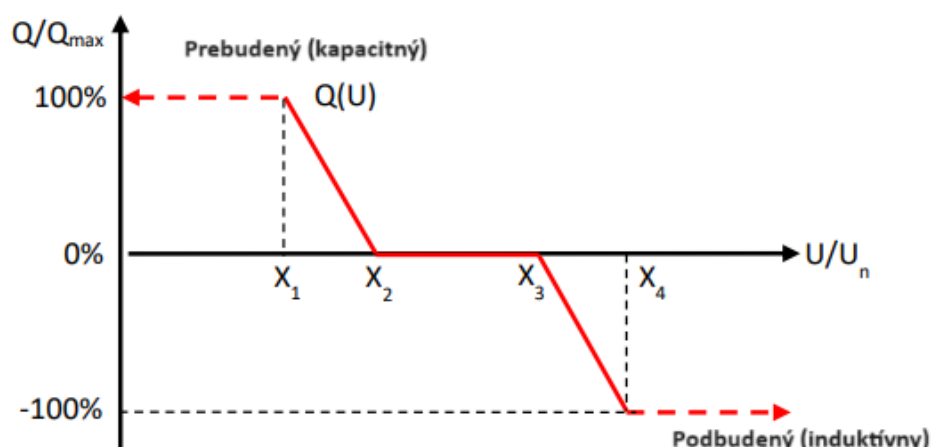
Pri výrobniciach do 100kVA, teda kategória A1, A2 je jalový výkon riadený autonómne. Výrobne s inštalovaným výkonom nad 100kVA musia mať jalový výkon možnosť riadiť. Pri dodávke činného výkonu je nastavenie jalového výkonu zadané PDS pevnou hodnotou alebo diaľkovo nastaviteľnou žiadanou hodnotou.

Žiadaná hodnota podľa PPDS-4 môže byť:

1. Pevná hodnota jalového výkonu Q fix
2. Hodnota jalového výkonu závislá na napätí $Q(U)$
3. Hodnota jalového výkonu závislá na činnom výkone $Q(P)$
4. Pevná hodnota účinníku $\cos \phi$ fix
5. Hodnota účinníku závislá na napätí $\cos \phi(U)$
6. Hodnota účinníku závislá na činnom výkone $\cos \phi(P)$
7. Zadaná hodnota napätia U

Výrobne pripojené do siete VN najčastejšie používajú spôsoby riadenia jalového výkonu pevnou hodnotou účinníku $\cos \phi$ fix, charakteristiku $Q(U)$ alebo zadanú hodnotou napätia U .

Pri výrobniciach pripojených do siete NN sa využíva autonómne riadenie podľa charakteristiky $Q(U)$ Obr.1.8



Obr. 1.8: Charakteristika funkcie $Q(U)$ [1]

Q (U) charakteristika z Obr. 1.8 je definovaná štyrmi bodmi. Osa X je pomer meranej hodnoty napätia v mieste pripojenia a hodnoty menovitého napätia. Osa Y je pomer dodávaného/odoberaného jalového výkonu výrobné a maximálnej hodnoty jalového výkonu, ktorú je schopná výrobňa dodať/odobrať. [4, 1]

1.13 Obnova činného výkonu po poruche

Po poruche musia byť nesynchronne výrobné modely kategórie A2, B1, B2, C a D byť schopné obnoviť činný výkon na hodnotu pred poruchou (alebo na maximálnu hodnotu s ohľadom na dostupný zdroj energie) s dovolenou odchýlkou $\pm 5\%$ do jednej sekundy po dosiahnutí 85% napätia v mieste pripojenia. Ak ale výrobný modul dodáva primárne jalový výkon tak, stačí ak obnoví činný výkon do jednej sekundy až po dosiahnutí 95% napätia v mieste pripojenia.[1, 3]

2 Fotovoltaické systémy

2.1 FVE kategórie A1

Fotovoltaická elektrárň typu A1 je väčšinou výrobňa elektrickej energie, ktorá je postavená za účelom výroby a spotrebovania elektrickej energie priamo v objekte inštalácie, teda hlavne na vlastnú spotrebu domácnosti. Takéto kategórie sa inštalujú zväčša na rodinné domy, pracovné haly a chaty.

2.2 On-Grid systém

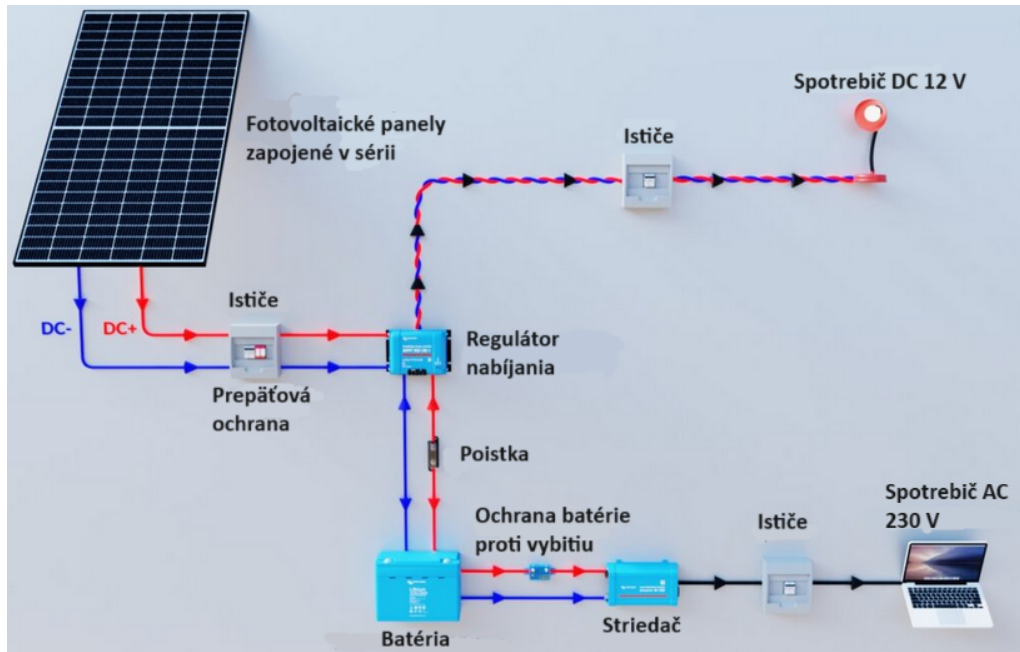
On-Grid je najpoužívanejší systém pri inštalovaní FVE. Solárny systém je priamo previazaný s miestnou distribučnou sieťou, ktorá bola využívaná k výhradnému odberu elektriny. Využíva sa na vlastnú spotrebu rodinných domov, či budov ale môže sa využívať aj ako dodávka elektrickej energie do distribučnej siete. Systém On-Grid funguje tak, že v prípade vyššej výroby ako je momentálna spotreba objektu sa elektrická energia posielá do distribučnej siete a v prípade nedostatočnej výroby si energiu od distribútora nakupuje. Výhodou tohto systému môže byť to, že pre jeho realizáciu nie je potrebný nákup akumulátorov, ktoré bývajú zväčša jednou z najdrahších položiek. Nevýhodou je, že pokiaľ systém nemá akumulátory, tak je čisto závislý na miestnej distribučnej sieti alebo aktuálneho žiarenia slnka na fotovoltaické panely. [5]

Pri tomto systéme môžeme využiť virtuálnu batériu. Virtuálna batéria je jedna z možností ako naložiť s prebytočnou energiou. V žiadnom prípade sa ale nejedná o reálny akumulátor, ktorý sa nabije a neskôr sa z neho čerpá energia, ak jej je nedostatok. Funguje to na princípe toho, že v čase produkcie majiteľ FVE pošle svoje prebytky do distribučnej sústavy cez elektromer, ktorý meria tok a množstvo energie posielanej z a do distribučnej sústavy. Distribútor zaznamená množstvo elektrickej energie, ktorú zadarmo prevzal od majiteľa FVE a v čase potreby dodá majiteľovi elektrickú energiu naspäť, ale v tomto prípade už nie úplne zadarmo. Majiteľ už neplatí silovú energiu ale platí sieťové poplatky. [6]

2.3 Off-Grid systém

Off-Grid systém alebo ostrovný fotovoltaický systém je rozdielny od predošlého On-Grid systému v tom, že nie je pripojený na sieť a obsahuje akumulátory. Všetka výroba je teda spotrebovaná v mieste výroby. Vyrobená elektrická energia je hneď

spotrebovaná alebo uložená do akumulátorov, ktoré sú neskôr využité ako zdroj energie. Tento systém má, ako už názov napovedá, význam tam, kde nie je k dispozícii elektrická prípojka ako napr. odľahlé chaty, ostrovy alebo výskumné stanice. Sú to miesta, kde nie je vybudovaná distribučná sieť z ekonomických dôvodov alebo to nie je umožnené z hľadiska ochrany životného prostredia (národné parky, rezervácie...).[7]



Obr. 2.1: Schéma ostrovného systému FVE [8]

2.4 Hybridné fotovoltaické systémy

Tento systém je kombináciou On-Grid a Off-grid systému. Využíva teda benefity oboch systémov. Hybridný systém má nainštalované akumulátory, ktoré sa nabíjajú v prípade, keď je výroba FVE vyššia ako spotreba domácnosti. Po nabití akumulátorov na maximum sa prebytky posielajú do siete. V čase, keď nie je dostatok slnečného svitu a FVE nevyrába dostatočnú elektrickú energiu, tak sa čerpá elektrická energia z akumulátorov. V prípade, že sa akumulátory vybijú, tak sa čerpá energia z distribučnej siete.

2.5 Komponenty

Pri výstavbe fotovoltaickej elektrárne je dôležité vybrať správne komponenty pre dosiahnutie požadovanej efektivity a funkčnosti. Základnými komponentmi sú:

- Panely
- Striedače
- Akumulátory
- Nosná konštrukcia
- Vodiče
- Ochranné prvky
- Elektromery

2.5.1 Panely

Fotovoltaické panely slúžia na premenu slnečnej energie na energiu elektrickú. Solárny panel sa skladá z článkov, ktorých môže byť 60-120, záleží to ale od konštrukcie daného panelu. V každej bunke sa nachádza polovodičový materiál, najčastejšie kremík. Pri dopade slnečnej energie, teda slnečného svetla na fotovoltaický panel nastáva premena slnečnej energie na elektrickú. Pri dopade fotóny prenášajú svoju energiu na elektróny v bunkách, ktoré sa uvoľnia a premiestňujú sa na negatívnu stranu. Na miestach elektrónov sa vytvoria diery, ktoré majú kladný potenciál a pohybujú sa do kladného smeru. [9]

Monokryštalické panely

Vysoká účinnosť pri ideálnych podmienkach. Monokryštalické panely dosahujú účinnosť až 22,5% pri ideálnych podmienkach. Solárna elektráreň má pri použití týchto panelov pomalší rozbeh ale po rozbehnutí dodáva energiu efektívnejšie. Sú rezané z jedného kusu kremíku a momentálne je technologický vývoj zameraný práve na tento typ panelov. Degradácia výkonu monokryštalických modulov dosahuje každý rok zhruba 1%. [10, 11]

Polykryštalické panely

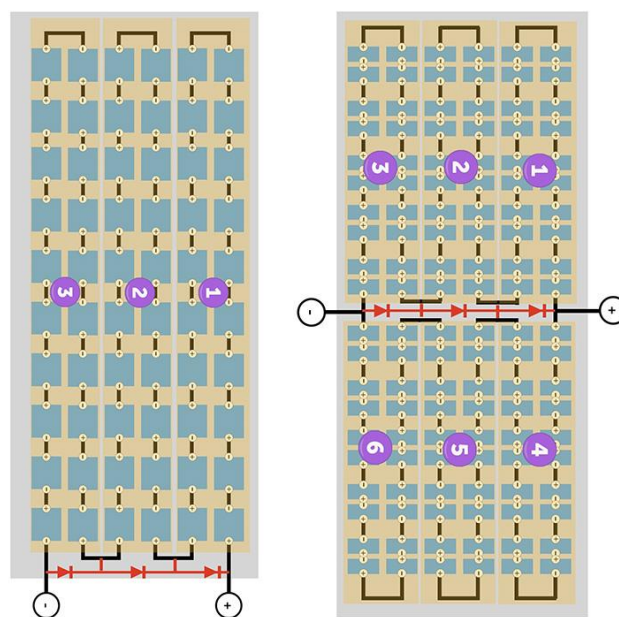
Rovnomerný výkon pri rozptýlenom svetle. Výroba týchto modulov je z roztaveného surového kremíka, ktorý sa vlieva do foriem a strihá na potrebnú veľkosť. Účinnosť týchto panelov sa pohybuje do 19%. Pre podmienky v Českej republike su výhodné vzhľadom na vyššiu výrobu počas prechodného a zimného obdobia. Vedia spracovávať aj difúzne žiarenie. Ich krivka degradácie účinnosti prvých 10 rokov klesá veľmi pomaly, o menej ako 1% ročne. [10, 11]

Amorfné panely

Amorfné alebo inak nazývané tenkovrstvé panely sa využívajú pri projektoch, kde je k dispozícii veľká plocha, pretože ich účinnosť siaha len do 10%. Z tohto dôvodu nevidíme často ich inštaláciu pri rodinných domoch. Výroba amorfných panelov sa vykonáva nanosením tenkej vrstvy vodivého materiálu na podkladovú dosku zo skla, fólie alebo plastu. Výroba amorfných panelov je lacnejšia a vo väčšom meradle sa stáva nákladovo efektívnejšou možnosťou. V komerčných a priemyselných projektoch, kde nie sú žiadne obmedzenia priestoru a cena hrá kľúčovú rolu, nižšia účinnosť amorfných panelov nemá úplne výrazný vplyv. V takýchto situáciách sa tenkovrstvové panely často stávajú najvýhodnejšou možnosťou z hľadiska nákladov.[10, 11]

Technológie zamerané na zvýšenie výkonu fotovoltaických panelov

Half-cut cell technológia sa používa na efektívnejšie vysporiadanie sa s tienením solárnych panelov. Samotný panel je rozdelený na dve časti, vrchnú a spodnú. Vrchná časť pracuje nezávisle od spodnej a naopak. Zapojenie je paralelné cez dva semi moduly. Z Obr.2.2 môžeme teda vidieť, že v prípade zatienenia oblasti 6 pri half cut cell technológií nám solárny panel bude pracovať na 5/6 celkového výkonu. V prípade zatienenia rovnakej oblasti bez použitia half-cut cell technologie nám panel bude pracovať na 2/3 výkonu. Zatiaľ čo klasické panely majú 3 by-pass zóny, pri half-cut cell technológií to je dvojnásobok, čím sa zvyšuje účinnosť a tým pádom aj množstvo vyrobenej energie, ktoré môže predstavovať nárast aj o 5-10% za rok. [12, 13]



Obr. 2.2: Half-cut cell technológia [12]

Ďalšou technológiou, ktorá sa využíva je nazývaná shingle alebo v preklade šindlová. Pri solárnych paneloch funguje tak, že jednotlivé bunky sa ukladajú pod seba. Je to znázornené na Obr.2.3 Vďaka tomu sa znižuje nevyužitá plocha fotovoltaického panela. Panel je teda na meter štvorcový výkonnejší.



Obr. 2.3: Šindlová technológia [14]

Účinnosť fotovoltaických panelov vzhľadom k ich polohe

Účinnosť fotovoltaických panelov je veľmi závislá od uloženia a následného sklonu panelu na svetovú stranu. Na území Českej republiky je najvýhodnejšie fotovoltaický panel nasmerovať na juh s 30 až 40 stupňovým uhlom. Je to dané geografickou šírkou Českej republiky. V prípade, že toto nasmerovanie nie je z nejakého dôvodu možné, používa sa aj západná alebo východná orientácia inštalácie. Účinnosť fotovoltaického panelu sa pri 30-stupňovom sklone znižuje zhruba na 86 %. “V takýchto prípadoch je potrebné zvoliť nižší uhol sklonu panelov až do 10 stupňov.”[13]

Podľa Tab.2.1 môžeme vidieť, ktoré nasmerovanie je najefektívnejšie a teda tým pádom aj zvoliť tú správnu inštaláciu.[13]

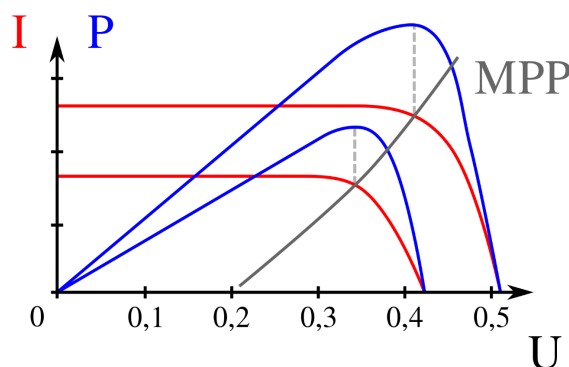
Tab. 2.1: Účinnosť fotovoltaického systému v závislosti od sklonu a orientácie na svetovú stranu[13]

SKLON	ZÁPAD	JUHO/ZÁPAD					JUH	JUHO/ZÁPAD					VYCHOD
	270°	255°	240°	225°	210°	195°	180°	165°	150°	135°	120°	105°	90°
0°	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
10°	89	91	92	94	95	95	96	95	95	94	93	91	90
20°	87	90	93	96	97	98	98	98	97	96	94	91	88
30°	86	89	93	96	98	99	100	100	98	96	94	90	86
40°	82	86	90	95	97	99	100	99	98	96	92	88	84
50°	78	84	88	92	95	96	97	97	96	93	89	85	80
60°	74	79	84	87	90	91	93	93	92	89	86	81	76
70°	69	74	78	82	85	86	87	87	86	84	80	76	70
80°	63	68	72	75	77	79	80	80	79	77	74	69	65
90°	56	60	64	67	69	71	71	71	71	69	65	62	68

2.5.2 Striedače

Fotovoltaické panely sú zdrojom jednosmerného prúdu, v bežnej domácnosti ale využívame prúd striedavý na väčšinu spotrebičov. Preto potrebujeme zariadenie, ktoré je schopné zmeniť jednosmerné napätie na striedavé. A to je úlohou striedača alebo inak povedané meniča. Úlohou striedača je aj dodávať čo najväčší výkon s čo najmenšími stratami.

Pre dodávanie maximálneho výkonu je potrebné, aby striedač pracoval v bode maximálneho výkonu. To nám zaručuje takzvaný MPPT (Maximum power point tracker). MPPT hľadá bod, pri ktorom dosiahne najvyšší výkon a je schopný tento bod hľadať aj v prípade, že sa voltampérová charakteristika mení a tým pádom sa mení aj bod maximálneho výkonu. Môže to byť spôsobené napríklad zatienením panelov. Z Obr.2.4 vidíme V-A charakteristiku a zároveň aj krivku výkonu.[15]



Obr. 2.4: V-A charakteristika a krivka výkonu [16]

Pri malých fotovoltaických elektrárnach má striedač aj ochrannú funkciu. Striedač monitoruje vyrobenú elektrickú energiu a v prípade nedodržania kvality vyrobenej energie z hľadiska frekvencie a napätia je striedač schopný odpojiť FVE od siete.[15]

Poznáme tri základne typy striedačov:

- On-Grid striedače
- Off-Grid striedače
- Hybridné striedače

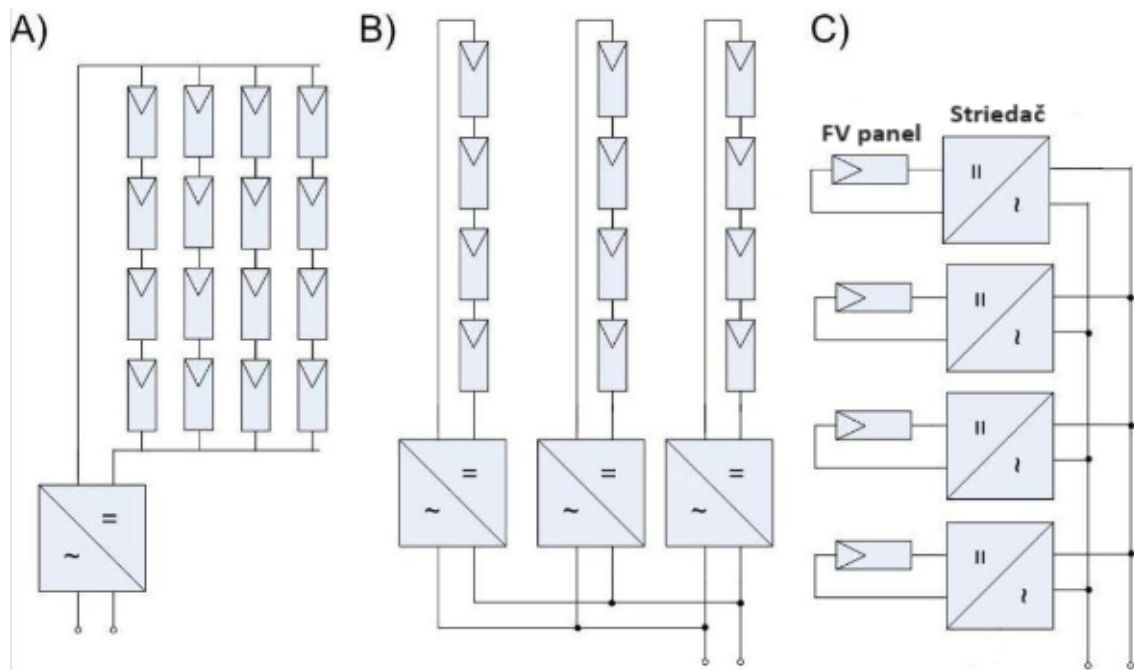
Podľa spôsobu zapojenia vieme rozdeliť striedače na:

- Centrálné striedače
- Reťazcové striedače
- Modulové striedače

Zapojenie centrálného striedača je vyhotovené ako paralelné pospájanie sériovo zapojených fotovoltaických panelov za sebou. Toto zapojenie môžeme vidieť na Obr.2.5 (A). Najväčšou výhodou tohoto zapojenia je úspora počiatočných nákladov na striedače, keďže sa používa jeden striedač na väčšie množstvo FV panelov. Výhodou je aj vysoká účinnosť centrálnych striedačov. Nevýhodou tohto zapojenia je horšia regulovateľnosť z dôvodu MPPT (sledovania maximálneho bodu výkonu). Ďalšou nevýhodou je, že v prípade poruchy striedača sa zneefektívni výroba viacerých FV panelov, keďže sú všetky napojené na jeden striedač.[15, 4, 17]

Pri reťazcovom zapojení, ktoré môžeme vidieť na Obr.2.5 (B) je vidieť, že každý string (seriovo zapojené FV panely) má vlastný striedač. Striedače su následne navzájom paralelne zapojené. Výhodou tohto zapojenia je lepšie monitorovanie maximálneho bodu výkonu, keďže každý string má vlastný striedač. Nevýhodou tohto zapojenia proti centrálnemu zapojeniu sú vyššie náklady, keďže musíme nakúpiť viac striedačov.[15, 4, 17]

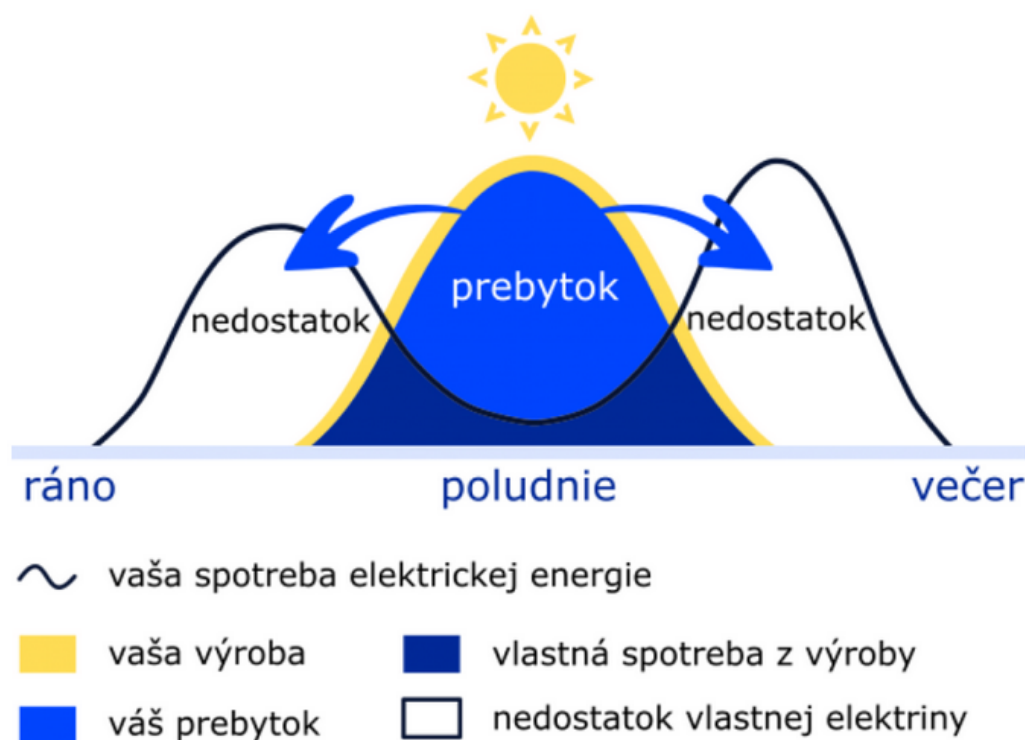
Modulové zapojenie, ktoré môžeme vidieť na Obr.2.5 (C) je zapojenie, pri ktorom má každý FV panel vlastný striedač. Striedače sú následne zapojené paralelne k sebe. Najväčšou výhodou je to, že monitorovanie maximálneho bodu výkonu je najlepšie, keďže každý FV panel má svoj striedač, ktorý pomocou MPPT sleduje neustále maximálny bod výkonu pre daný priradený FV panel. Nevýhodou je počiatočná investícia, keďže je potrebné mať rovnaký počet striedačov ako FV panelov. Toto zapojenie sa z ekonomických dôvodov nevyužíva tak často, a ak sa využíva tak najčastejšie u malých FVE.[15, 4, 17]



Obr. 2.5: Zapojenie invertorov vo FV systémoch (A- centrálny, B- reťazcový, C- modulový) [17]

2.5.3 Akumulátory

Akumulátory vo fotovoltaickom systéme slúžia na uskladnenie elektrickej energie, primárne vyrobenej zo solárnych panelov, ktorá nie je spotrebovaná v okamihu jej vzniku, to znamená že, máme výrobu vyššiu ako spotrebu. Výhodou použitia batérií vo fotovoltaickom systéme je, že cez noc, počas zamračeného počasia alebo nadmerného odberu dokážu poskytnúť dodatočnú potrebnú energiu. Nevýhodou batérií je ich cena, ktorá je stále pomerne vysoká. Z Obr.2.6 môžeme vidieť funkciu batérie vo fotovoltaickom systéme. Počas obedných hodín, keď je najvyššia pravdepodobnosť na ideálne počasia pre efektívnu výrobu u FVE sú ľudia väčšinou v práci a spotreba domácnosti je všeobecne nízka. Vyrobena elektrická energia teda nepreteká do siete ale ukladá sa do akumulátorov, ktoré neskôr vo večerných hodinách, keď už FVE nevyrába takmer žiadnu elektrickú energiu, dodávajú uloženú energiu naspäť do domácnosti. [18]



Obr. 2.6: Výroba elektrickej energie počas dňa [19]

V súčasnej dobe sa pri systémoch FVE používajú tri druhy akumulátorov:

- Olovené akumulátory
- Lithium-iontové akumulátory (Li-ion)
- Lithium-železo-fosfátové akumulátory (LiFePo4)

Olovené akumulátory

Olovené akumulátory sú jedným z najstarších a najbežnejších typov akumulátorov používaných v rôznych aplikáciách. Ich princíp fungovania je založený na elektrochemických reakciách, ktoré prebiehajú v elektrolyte (zvyčajne zriedenej kyseline sírovej). Do elektrolytu je ponorená anóda a katóda, ktoré tvoria jeden článok o menovitom napätí 2 volty.

Najväčšou výhodou olovených akumulátorov je ich nižšia cena oproti Li-ion a LiFePo4. Ďalšou z výhod je overená spoľahlivosť, keďže tieto akumulátory sa využívajú v praxi už veľmi dlhé roky. Pri tomto type batérie máme nízky vnútorný odpor, takže dokážu poskytovať vysoké vybíjacie prúdy a pri správnych podmienkach majú nízke samovybíjanie. Čo znamená, že keď sa nevyužívajú tak strácajú energiu veľmi pomaly.

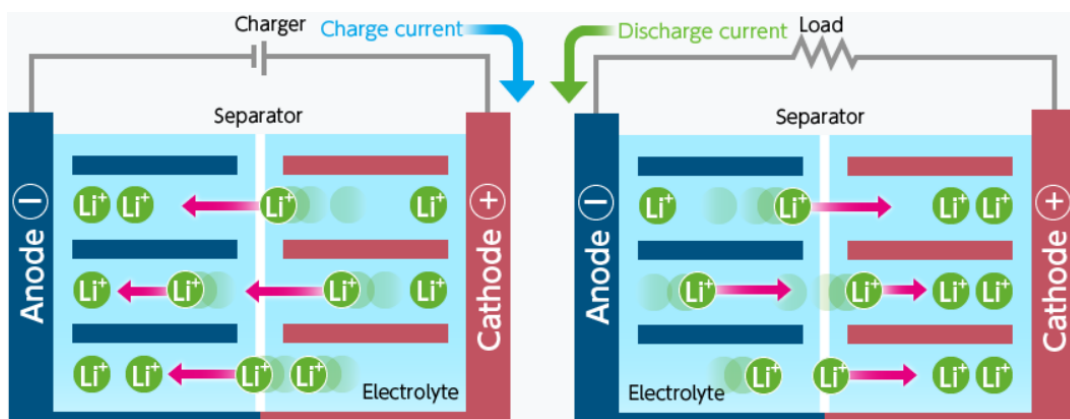
Na druhej strane majú tieto batérie aj množstvo nevýhod, o ktorých je nutné sa

zmieniť a taktiež nie sú vhodné do úplne všetkých aplikácií. Olovené batérie majú nízku mernú hustotu energie, zhruba 40Wh/kg. Čo znamená, že pokiaľ potrebujeme batérie s väčšou kapacitou a zvolíme zrovna olovenú batériu, tak hmotnosť a rozmery sú veľké, čo niekedy môže predstavovať problém s umiestnením batérie. Ďalšími veľkými nevýhodami pri týchto batériách je ich pomalé nabíjanie a obmedzená životnosť na nižší počet cyklov (nabitie a vybitie batérie). Taktiež je vhodné dávať pozor na doporučenú hĺbku vybitia, ktorá je udávaná výrobcom a je to cca do 50%. To znamená, že ak by sa opakovane batéria vybíjala pod 50% jej celkovej kapacity, tak by sa jej životnosť prudko znižovala. Olovená batéria obsahuje aj škodlivé látky ako olovo alebo kyselinu sírovú, čo môže byť problém pre životné prostredie, ak nie sú dôsledne recyklované.[4, 20]

V dôsledku týchto nevýhod sú olovené akumulátory postupne nahradzované modernými technológiami ako sú lítiové-iontové akumulátory alebo lithium-železo-fosfátové akumulátory, ktoré majú vyššiu hustotu energie a dlhšiu životnosť.

Lithium-iontové akumulátory

Li-ion batérie sa skladajú z anódy a katódy, separátoru, ktorý sa nachádza medzi dvoma elektródami a elektrolytu, ktorý vyplnía zostávajúci priestor v batérii. Anóda a katóda sú schopné uchovávať lítiové ióny. Energia sa ukladá a uvoľňuje, keď ióny lítia cestujú medzi týmito elektródami cez elektrolyt. Elektrolyt v lítiových iontových batériách zvyčajne pozostáva z látok, ktoré sú schopné vodivosti lítiových iónov medzi anódou a katódou počas procesov nabíjania a vybíjania. Typický elektrolyt v Li-ion batériách je založený na organických rozpúšťadlách a lítiových solách. Z Obr.2.7 je vidieť ako sa správa batéria počas nabíjania a vybíjania. [4, 21]



Obr. 2.7: Nabíjanie a vybíjanie Li-ion batérie [22]

Výhody Li-ion akumulátorov:

- Vyššia doporučená hĺbka vybitia batérie
- Dlhšia životnosť
- Vyššia hustota energie
- Bezúdržbovosť
- Vysoká účinnosť

Pri Li-ion batériách je doporučená hĺbka vybitia oveľa vyššia ako pri olovených. Doporučená hĺbka môže byť až 95%, čo nám zaručuje aj dlhšiu životnosť, pretože sa batéria nemusí nabíjať a vybíjať tak často. Li-ion akumulátory majú aj vyššiu hustotu energie cca 200 Wh/kg, čo spôsobí menšiu hmotnosť a veľkosť akumulátora. Li-ion akumulátory sú viacmenej bezúdržbové a majú vysokú účinnosť.

Nevýhody Li-ion akumulátorov:

- Vyššia cena
- Vyšší vnútorný odpor
- Riziko tepelného úniku pri poruche

Nevýhodou je hlavne vyššia cena oproti oloveným akumulátorom, vyšší vnútorný odpor, čo má za následok nižšie vybíjacie prúdy a tak isto aj riziko vznietenia sa.[4, 21]

LiFePo₄ akumulátory

Konštrukcia LiFePo₄ akumulátoru je takmer totožná ako u batérie Li-ion. Anóda, katóda, elektrolyt, separátor. Najväčším rozdielom je katóda, ktorá je vyrobená z lítiovo-železofosfátového materiálu (LiFePo₄). V súčasnosti sú najobľúbenejšou voľbou pre FVE tieto lithium-železo-fosfátové akumulátory. Je to spôsobené hlavne dlhou životnosťou. LiFePo₄ batérie sú známe pre svoju dlhú životnosť a môžu dosiahnuť vyšší počet cyklov nabíjania a vybíjania ako batérie li-ion. Dosahujú 4 až 10 tisíc cyklov pri zhruba 90% hĺbke vybitia. Zároveň majú aj vyššiu odolnosť voči vysokým teplotám a pri extrémnych podmienkach nevybuchujú, čiže sú bezpečnejšie. Výhodou je aj vysoká účinnosť a nízky vnútorný odpor, čo znamená, že vedia dosiahnuť vysokých vybíjacích prúdov. Nevýhodou týchto batérií oproti li-ion akumulátorom je nižšia merná hustota energie cca 150Wh/kg.[4, 23]

2.6 Softwareové alternatívy pre návrh fotovoltaických systémov

V dnešnej dobe je pri projekcii FVE samozrejmosťou využitie nejakého software programu, pretože návrh a správa elektrických elektrární je komplexný proces, ktorý vyžaduje zohľadnenie mnohých premenných a faktorov. Používanie softvéru v tomto

odvetví poskytuje množstvo výhod a prínosov, ktoré zvyšujú efektívnosť a presnosť projektovania. Hlavnými výhodami použitia software programu sú:

- Možnosť simulácií
- Optimalizácia projektu
- Finančná analýza a návratnosť investícií
- Rýchlejšia a efektívnejšia projekcia

Momentálne je na výber z množstva software programov, ktoré sa dajú na projekciu využiť. Zhodnotiť, ktorý z nich je najlepší, určite nejde, keďže každý software má svoje výhody a nevýhody. Môžu sa týkať ceny, podpory softwaru, prehľadnosti, ovládateľnosti a množstva ďalšieho.

Medzi známe používané software programy patria napríklad:

- PV*SOL
- PVsyst
- HOMER Pro

2.6.1 PV*SOL

PV*SOL je nemecký 3D software pre simuláciu fotovoltaických systémov, ktorý umožňuje navrhovať a optimalizovať solárne elektrické systémy. V programe je teda niekoľko využiteľných funkcií pre projektovanie FVE:

1. Návrh systému: Možnosť vytvárať virtuálne modely stavieb, budov a pozemkov, na ktoré je možné integrovať fotovoltaické panely.
2. Výkonová simulácia: Software taktiež umožňuje simulovať výkon FVE v závislosti na rôznych faktoroch ako je orientácia fotovoltaických panelov, tieň, geografická poloha, sklon panelov a ďalšie parametre.
3. Optimalizácia návrhu: Užívateľovi je umožnené vykonávať rôzne simulácie a experimenty pre vyhotovenie optimálnej konfigurácie FVE.
4. Finančná analýza: Software poskytuje aj nástroje pre finančnú analýzu projektov vrátane vypočítania orientačných nákladov alebo návratnosť investície.

Všetky tieto možnosti ponúka program PV*SOL od prístrešku až po veľkú elektrárňu, ktorá môže obsahovať až do 1000 modulov.[24]

2.7 Možnosti dotácie

Program nová zelená úsporám sa zaoberá dotáciami zameranými na úspory energie v rodinných domoch a bytoch. Cieľom programu je zvýšiť účinnosť budov. Ako je písané na stránke ministerstva životného prostredia „Podpora směřuje na zateplování budov, výstavbu či nákup domů s velmi nízkou spotřebou energie, ekologické

způsoby vytápění budov včetně výměny nevyhovujících zdrojů na vytápění, na využívání obnovitelných zdrojů energie či na adaptační a mitigační opatření v reakci na probíhající změnu klimatu.“ Program je dostupný pre fyzické aj právnické osoby a všeobecne existuje možnosť získať 50% z celkových priamych realizačných výdajov.[4] Na uplatnenie dotácie sa musí podať žiadosť, ktorá môže a nemusí byť schválená. Ak je žiadosť schválená, nasleduje niekoľko ďalších krokov. Je potrebné si uvedomiť, že na začiatku si celú realizáciu treba zaplatiť a až po dokončení inštalácie príde na účet vopred vypočítaná dotácia.[25]

3 Návrh FVE

Táto kapitola je praktická časť práce a zaoberá kompletným návrhom FVE systému v programe PV*Sol. PV*sol dáva možnosť zadávania konkrétnych lokácií na základe informácií z meteorologických staníc. Software má teda aj prístup ku klimatickým dátam. PV*sol umožňuje aj 3D modelovanie, vďaka ktorému si vieme projekt vizualizovať a navrhnuť tak aj osadenie FV panelov na strechu. Software teda ponúka širokú škálu možností cez tienenie až po finančnú analýzu, ktorá sa pri práci využila. Taktiež sa v praktickej časti zhotovila pre vybraný návrh aj jendopólová schéma FVE v programe BrisCAD a spracovala sa aj projektová dokumentácia vrátane technickej správy.

3.1 Varianty pre návrh

Pred samotným návrhom finálnej verzie sa uvažuje nad viacerými variantami FVE. Uvažuje sa nad aktuálnou spotrebou rodinného domu ale zároveň aj nad spotrebou, ktorá bude v budúcnosti v rodinnom dome. Vzhľadom k tomu, že investor uvažuje v budúcnosti nad inštaláciou tepelného čerpadla vzduch-voda a nevyklučuje ani dobíjanie elektromobilu, bolo dôležité, aby sa projekt zaoberal aj tým, ako efektívny bude v budúcnosti.

Prvé zvažované kritérium je výkon:

1. 5kW_p FVE
2. 10kW_p FVE

Druhé zvažované kritérium je spotreba rodinného domu:

1. 4MWh aktuálna spotreba
2. 9MWh možná spotreba v budúcnosti

Pre finančnú analýzu je jedným z kľúčových parametrov aj to, či budú možné pretoky do siete. Z tohto dôvodu sa teda práca zaoberá variantami:

1. nulové pretoky
2. najvyššie 50% pretoky (kvôli možnosti dotácie)
3. povolené pretoky bez obmedzenia

Posledné rozdelenie sa týka dotácií:

1. s dotáciou
2. bez dotácie

Značenie návrhov:

- Pi 5/10 - inštalovaný výkon FVE
- E9/E10- spotreba rodinného domu
- Pg0/50/100- pretoky do siete v %
- S/B- S alebo bez dotácie

Tab. 3.1: Tabuľka kombinácií návrhov

Pretoky	Inštalovaný výkon (kWp)	5		10	
100 %	Spotreba (kWh)	4	9	4	9
50 %		4	9	4	9
0 %		4	9	4	9

Tab. 3.1 znázorňuje možné kombinácie návrhov. Pri pretokoch 0% je možnosť dotácie a FVE sa pripája do siete ako mikrozdroj. Pri 50% je možnosť dotácie. A pri 100% pretokoch je možná dotácia len v prípade, ak je pretok menší ako polovica.

Nakoľko sa navrhujú FVE s dvomi rôznymi výkonmi a to 5 a 10 kWp, tak je dôležité zvoliť správne komponenty pre každú FVE.

5kWp FVE disponuje komponentami:

- 12x FV panel Trina solar TSM-450-NEG9R.28 VERTEX S+
- asymetrický 3f striedač SolaX Power X3-Hybrid-6.0 G4
- batérie SolaX Power X3-HYBRID-G4-6.0kw+T30*2

10kWp FVE disponuje komponentami:

- 22x FV panel Trina solar TSM-450-NEG9R.28 VERTEX S+
- asymetrický 3f striedač SolaX Power X3-Hybrid-10.0 G4
- batérie SolaX Power X3-HYBRID-G4-10.0kw+T58*2

Po analýze všetkých návrhov, ktoré pripadali do úvahy podľa Tab.3.7 (ako napríklad Pi-5-E9-PG50-S a Pi- 5-E4-PG50-S), sa rozhodlo, že technická správa, projektová dokumentácia a energetické zhodnotenie projektu sa vytvorí pre návrh Pi-10-E9-PG50-S.

Vybraný projekt a návrh Pi-5-E4-PG50-S sú v podstate totožné. Inštalovaný výkon a spotreba pri vybranom projekte je v podstate dvojnásobok návrhu Pi-5-E4-PG50-S. V práci teda vznikla možnosť urobiť jednopólovú schému, kde bude zakomponovaná aj nabíjacia stanica pre elektromobil a zároveň sa využije aj plná suma za dotácie.

3.2 Popis objektu

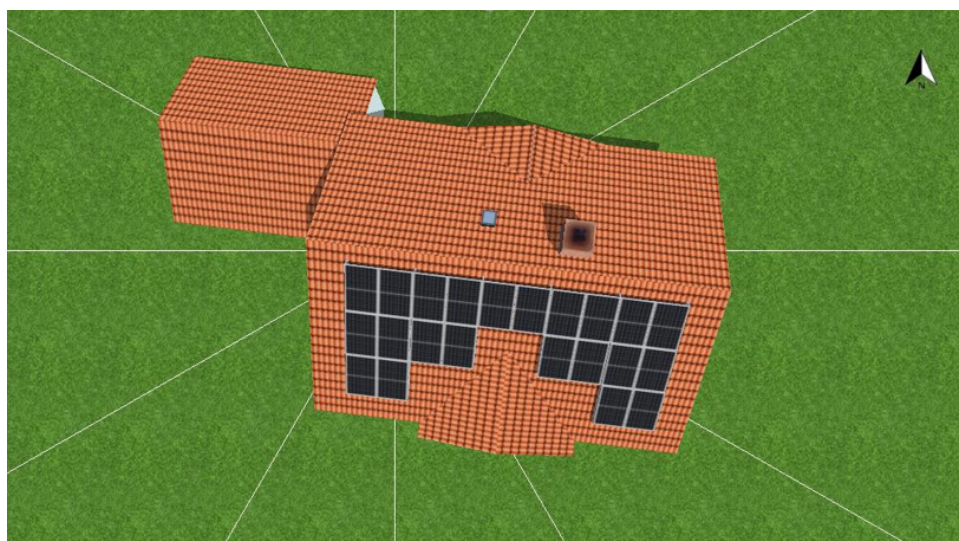
Objekt pre návrh FVE sa nachádza v Českej Republike v obci Velké Meziříčí. V okolí rodinného domu sa nenachádzajú žiadne vyvýšené budovy alebo rastlinstvo, ktoré by mohli zapríčiniť tienenie na FV panely. Rodinný dom má sedlovú strechu. Časť strechy, na ktorú budú inštalované fotovoltaické panely, je orientovaná na juh v uhle 187° a sklon strechy je 32° . Dodávateľom elektrickej energie v tejto oblasti je EG.D. Domácnosť má sadzbu D25d a spotreba tejto domácnosti za obdobie 10/2020 až 10/2023 je zaznamenané v Tab.3.2, kde VT značí vysoký tarif a NT značí nízky tarif.

Obdobie	Spotreba		Celkom (MWh)
	VT (MWh)	NT (MWh)	
10/2020-10/2021	4,400	2,482	6,882
10/2021-10/2022	3,717	1,576	5,293
10/2022-10/2023	3,597	1,377	4,974

Tab. 3.2: Spotreba energie v rôznych rokoch

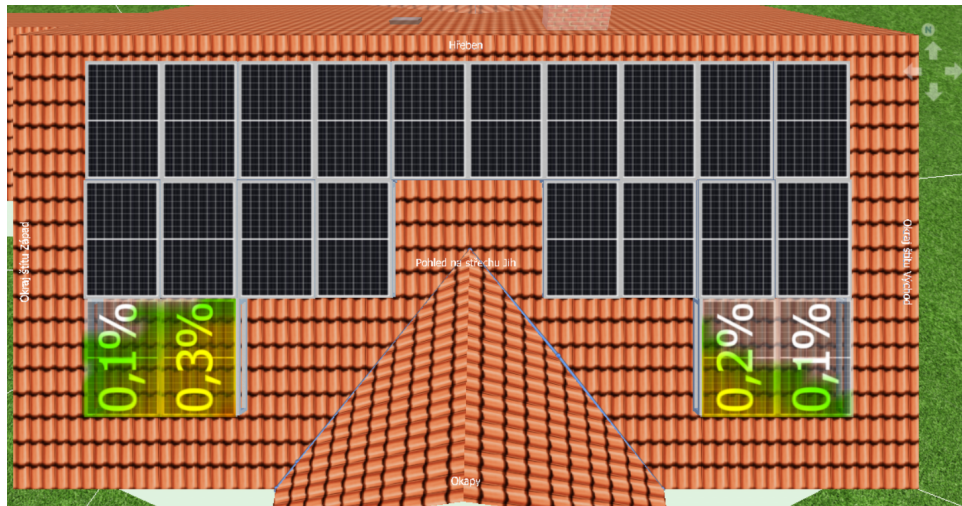
3.3 3D návrh

V 3D návrhu sa vytvoril model podľa poskytnutých informácií o rodinnom dome.



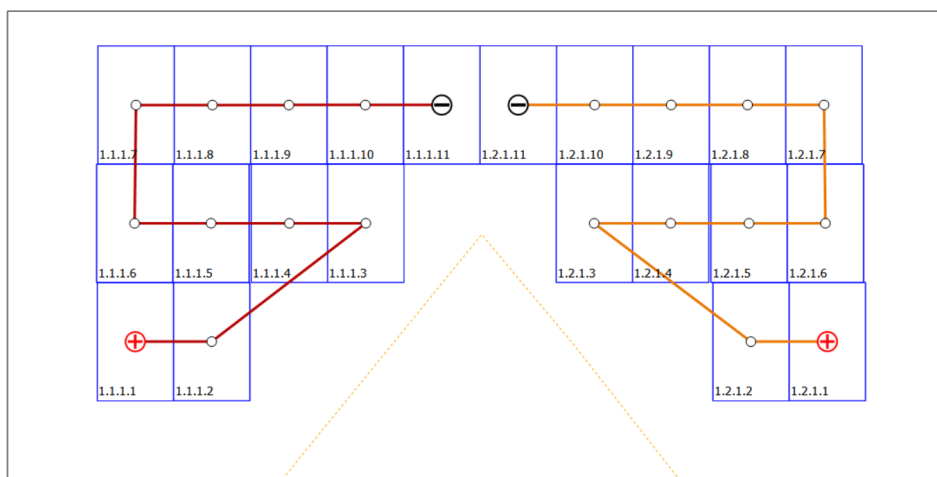
Obr. 3.1: 3D návrh

FV panely boli nainštalované tak, aby boli minimálne vo vzdialenosti pol metra od okraja strechy. Pri vytvorení 3D modelu sa urobil aj výpočet tienenia. Vzhľadom k tomu, že rodinný dom je najvyššou stavbou vo svojom okruhu, tienenie na FV panely je minimálne, vid. 3.2.



Obr. 3.2: Tienenie

Panely sú rozdelené na dva stringy z dôvodu väčšej efektivity, nakoľko striedač má dva MPPT trackre vid.3.3



Obr. 3.3: Pospájanie FV panelov

3.4 Výber komponentov

V rámci návrhu boli vyberané aktuálne a cenovo dostupné komponenty, ktoré ako celok dokážu spolupracovať.

3.4.1 Hybridný asymetrický menič a batérie

Pri návrhu sa zvolila kombinácia meniča SolaX Power X3- HYBRID G4 10.0 kW a batérie Triple Power T58 (2ks) 11,6 kWh.

Tab. 3.3: Menič a batérie

Komponent	Značka	Model	Počet
Striedač	Solax Power	G4 X3-Hybrid-10.0-D	1
Batéria	Triple Power	T-BAT H5.8 V2 (T58 Master)	1
Batéria	Triple Power	HV11550 V2 (T58 Slave)	1

Základné informácie ku striedaču 3.4:

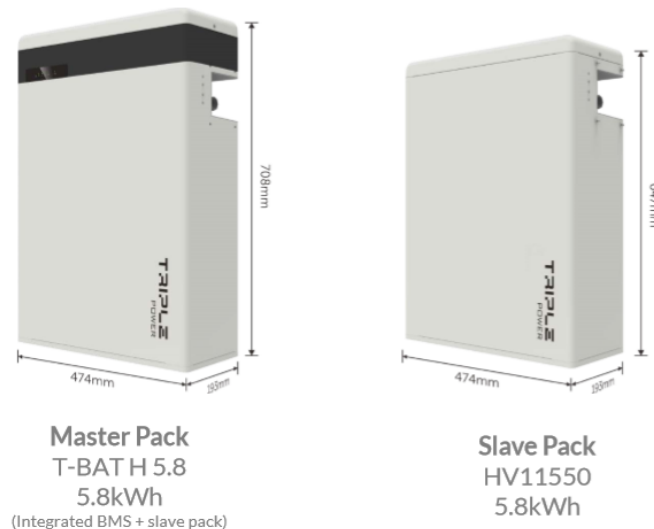
- 150% asymetria
- Funkcia aktualizácie ovláda vzdialené jednotky, komunikačné rozhranie pre externé ovládanie
- Paralelná funkcia on-grid / off-grid
- Napätie MPP (Maximum Power Point): 180 - 950 V
- Max. vstupné napätie: 1 000 V
- Menovitý výstupný výkon AC: 10 kW
- Počet MPP trackerov: 2
- Krytie (IP): IP65



Obr. 3.4: G4 X3-Hybrid-10.0-D[26]

Základné informácie k batérii 3.5:

- Montáž na podlahu alebo stenu
- Bezpečná LiFePO4 technológia
- Záruka výrobcu na batérie 10 rokov
- Menovité napätie 115,2 V
- Menovitá kapacita 5,8 kWh
- Max. vybíjací/ nabíjací prúd 30A
- Cyklická životnosť (90% DOD) 6000



Obr. 3.5: T-BAT H5.8 V2 (T58 Master+slave)[26]

3.4.2 FV panely

Vďaka ideálnym podmienkam v oblasti návrhu boli zvolené monokryštalické panely s maximálnou účinnosťou pri ideálnych podmienkach až 22.5%. V oblasti návrhu sa nenachádzajú žiadne iné vyššie budovy alebo rastlinstvo ako rodinný dom a tým pádom FVE neobmedzuje tienenie. Panely sú osadené na južnej strane pol metra od okrajov strechy a inštalované na nosnej konštrukcii so sklonom 32°. Vzhľadom na počet kusov panelov a možnosti meniča sú rozdelené do dvoch stringov (sériových rád) po 11 kusov. Napätie na prázdno dosahuje 52,9 V a prúd na krátko 10,74 A. Rozmery panelu sú 1762x1134 a cena za kus sa pohybuje okolo 2600 Kč. Viac podrobných informácií o paneloch sa nachádza v prílohe C.1 .

3.4.3 Bezpečnosť a monitoring

Rozvádzač R-AC/DC obsahuje aj zariadenie na diaľkové monitorovanie FV panelov, ktoré bude riadiť/komunikovať s optimizérmi (nainštalované pre funkciu shutdown z bezpečnostných dôvodov) výkonu Tigo TS4-A-O umiestnenými k FV panelom na streche domu.

Optimizéry Tigo TS4-A-O umožňujú monitoring FV panelov, vďaka ktorým sú k dispozícii informácie o prevádzkových veličinách a stave všetkých sledovaných FV panelov. Tento monitoring teda umožňuje odhaliť prípadné závady a poruchové stavy jednotlivých panelov. Pre monitoring a funkciu Rapid shutdown je k optimizérom Tigo nutné doinštalovať Gateway (TAP = Tigo Access Point), ktorý sa nainštaluje na strechu rodinného domu a od miesta inštalácie prijíma dáta od optimizérov v okruhu 15m. Z Gateway sú dáta posielané prostredníctvom RS485 do riadiacej jednotky, ktorá je pripojená na internet a dáta preposiela na portál Tigo. K dátam z monitoringu je prístup z ľubovoľného zariadenia pripojeného na internet.[4]



Obr. 3.6: Tigo TS4-A-O [27]

3.5 Technické riešenie

V tejto časti je poskytnutý prehľadný opis technického riešenia fotovoltaickej elektrárne na rodinnom dome.

Na streche rodinného domu bude umiestnených 22 panelov, ktoré budú nainštalované na konštrukcii a budú nasmerované 187° na juh so sklonom 32°. Na streche budú umiestnené dva stringy z dôvodu dvoch MPPT trackerov v meniči. Pospájanie panelov bude prevedené pomocou DC solárnych káblov o priereze 6mm². Na každý panel sa osadí zariadenie Tigo TS4-A-O. Solárne DC káble sa zapoja do DC

časti rozvádzača R-AC/DC. V DC časti rozvádzaču R-AC/DC budú pre obidva stringy osadené dvojpólové odpínače DC 1000 V s poistkovými vložkami 15 A gR, a za odpínačom sa nainštaluje zvodič prepätia DC 750 V. Z časti DC rozvádzaču AC/DC je DC káblami pripojený menič, ku ktorému sa pripojí batéria na akumuláciu elektrickej energie. Menič má dva AC výstupy, kde jeden je zálohovaný a druhý je nezálohovaný. Oba výstupy meniča (zálohovaný a nezálohovaný) sú vedené káblami CYKY-J 5x4 a sú istené ističmi 16A/B/3p. Zálohovaná časť sa môže pripojiť k nezálohovanej sieti prostredníctvom sieťového vypínača QP1 (750V/25A/3p), ktorý bude umiestnený v rozvádzači. Na striedavej strane meniča sa nachádza aj zvodič prepätia. V striedavej časti rozvádzača R-AC/DC sa nachádza aj stykač KA1 (NO), ktorý je ovládaný signálom z relé boxu, a tým blokuje menič. Rozvádzač R-AC/DC bude obsahovať aj zariadenie na diaľkové monitorovanie FV panelov, ktoré bude riadiť/komunikovať s Tigo TS4-A-O. Zdroj pre Tigo TS4-A-O, bude mať napájanie z fázy L2 a bude chránený ističom (6A/B/1p). Inštalácia nadobudne aj tlačidlo TOTAL STOP, ktoré budú ovládať napätové cievky spínača QH01. Po vybavení tlačidla sa menič a celá inštalácia odpojí od napájania. V inštalácii pribudne aj wallbox, ktorý je 3 fázovo napájaný a chránený ističom FWB 16A/B/3p. O reguláciu wallboxu sa stará relé box a stykač KA2. Podrobnejšie informácie ku jednopólovej schéme sú v prílohách B.3 a B.1.

3.5.1 Výpočty pre DC stranu

Návrh správnej prepäťovej ochrany pre fotovoltaickú elektrárňu je dôležitý na ochranu systému pred prepätím spôsobeným bleskami alebo spínacími prechodovými javmi. Každý string má vlastnú prepäťovú ochranu typu 2. Pre správnu voľbu prepäťovej ochrany bolo potrebné vykonať jednoduchý výpočet. Z prílohy C.1 o FV paneloch sa zistila hodnota napätia na prázdno (U_{oc}) pre jeden FV panel. Keďže sú FV panely v stringu sériovo, tak je táto hodnota vynásobená počtom FV panelov (N_s) a následne vynásobená hodnotou 1,2, ktorá slúži ako rezerva. Z vypočítanej hodnoty sa následne vyberá najbližšia vyššia hodnota prepäťovej ochrany. V tomto prípade to bola prepäťová ochrana 750 V.

$$U_{po} = U_{oc} \cdot N_s \cdot 1.2 = 52.9 \cdot 11 \cdot 1.2 = 698.28 \text{ V} \quad (3.1)$$

Následne bola navrhnutá poistka pre dvojpólový poistkový odpínač. Poistky pre fotovoltaickú elektrárňu (FVE) sú dôležité pre ochranu systému, hlavne pred nadprúdom. Z prílohy C.1 o FV paneloch sa zistila hodnota prúdu na krátko (I_{sc}). Tak isto sa zistil aj maximálny zatažovací prúd pre solárny vodič 6mm² (I_z). Pre výpočet bol použitý bezpečnostný koeficient 1,35.

Výpočet menovitého prúdu nadprúdového ochranného prístroja (I_n) je v rovnici (3.2), na základe tohoto výpočtu bola teda vybratá poistka s hodnotou 15 A.

$$I_n \geq 1.35 \cdot I_{sc} = 1.35 \cdot 10.74 = 14.499 \text{ A} \quad (3.2)$$

Ďalej bola vykonaná kontrola overenia stanoveného I_n vo vzťahu ku I_{mf} , čo predstavuje maximálne predpísané povolené istenie panelu.

$$\begin{aligned} I_n &\leq I_{mf} \\ 15 &\leq 20 \end{aligned} \quad (3.3)$$

A zároveň, či I_n je menšie alebo rovné ako I_z . Podmienky sú v oboch prípadoch splnené, hodnoty sú v A.

$$\begin{aligned} I_n &\leq I_z \\ 15 &\leq 30 \end{aligned} \quad (3.4)$$

3.6 Energeticko-ekonomická analýza

Kapitola tejto práce sa bude zaoberať energetickou a ekonomickou analýzou celého zvoleného projektu FVE. Kapitola zahŕňa teda niekoľko aspektov. V energetickej časti pojednáva so spotrebou rodinného domu a vyrobenou elektrickou energiou z FVE, rieši toky elektrickej energie, krytie celkovej spotreby a využitie energie z FVE. V ekonomickej časti sa kapitola zaoberá celkovými investíciami na inštaláciu FVE. Zobrazuje podrobný cash flow, ktorý je navrhnutý na najbližších 30 rokov.

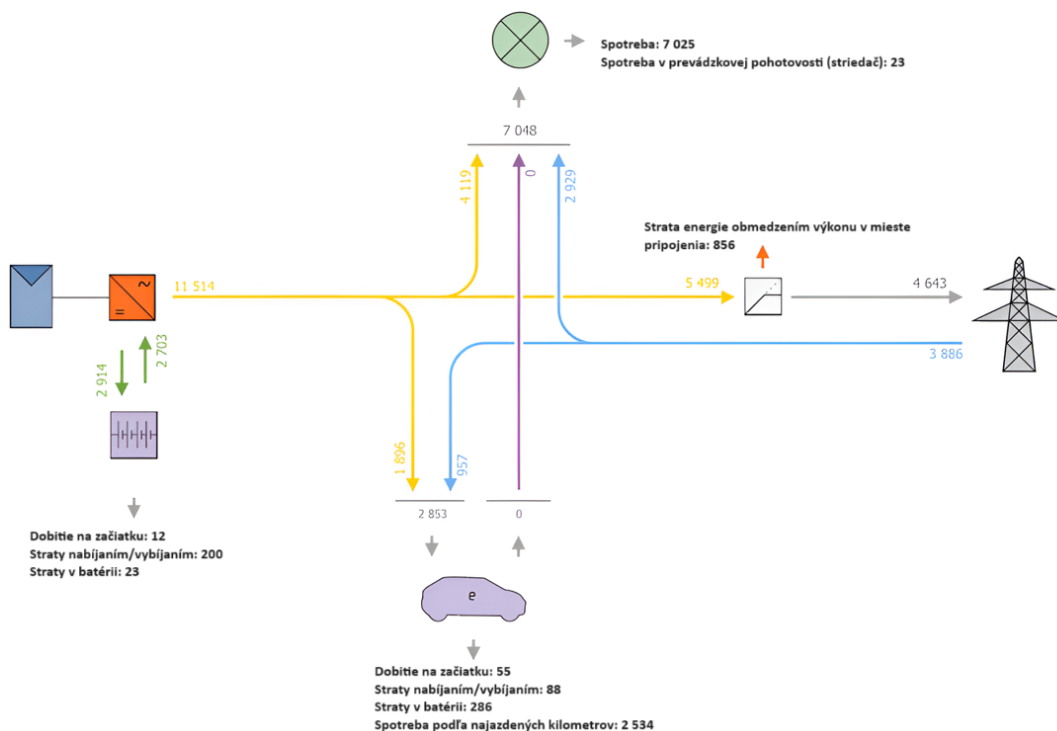
3.6.1 Energetická analýza

Pri vybranom projekte sa uvažuje so spotrebou, ktorá je najaktuálnejšia. Z poskytnutých informácií je spotreba za obdobie 2022-2023 4,974 MWh, keďže ale investor v budúcnosti uvažuje nad odberovo významnejšími spotrebičmi ako je napríklad dobíjacia stanica pre elektromobil alebo nad tepelným čerpadlom vzduch-voda, tak je spotreba rodinného domu navýšená o tieto spotrebiče. Nakoľko využitie týchto spotrebičov môže byť veľmi individuálne v závislosti na čase, či ročnom období, tak sa do návrhu použili modely, ktoré ponúka program PV*sol. PV*sol v týchto modeloch simuluje najbežnejšie používanie týchto spotrebičov, kde počíta s každým mesiacom v roku samostatne. Pri dobíjacej stanici pre elektromobil počíta s požadovaným týždenným dojazdom, ktorý je nastavený na 300km. Celková spotreba tohto rodinného domu po pridaní uvažovaných spotrebičov je 9,559 MWh.

Energetické toky

Obr.3.7 znázorňuje toky energie medzi FVE, spotrebou a sieťou. Spotreba domácnosti je zhruba 7025 kWh pričom ďalších 2534 kWh je spotreba elektrického elektromobilu, ktorá sa podľa jeho používania, následného nabíjania v domácnosti a najazdených kilometrov v priebehu týždňa môže líšiť. Práca ale uvažuje so spotrebou, ktorú má software preddefinovanú pre každý druh spotrebiča. Pri elektromobile je možnosť nastavenia najazdených kilometrov za týždeň a hodiny v určitých dňoch, kedy sa elektromobil bude nabíjať. Na Obr.3.7 je vidieť aj pretoky do siete. V týchto pretokoch vzniká strata energie obmedzením výkonu v mieste pripojenia. Táto strata je zapríčinená tým, že pretoky do siete sú obmedzené na maximálne 50% z dôvodu nového pravidla, ktoré je platné od 15.2.2024 pre FVE, ktoré chcú žiadať o dotáciu. „Rezervovaný výkon sjednaný ve smlouvě o připojení s provozovatelem distribuční soustavy (sítě) bude omezen na maximálně 50% instalovaného výkonu FV systému. Podmínka je pro příjemce podpory závazná po celou dobu udržitelnosti i v případě navýšení výkonu systému.“ [25]

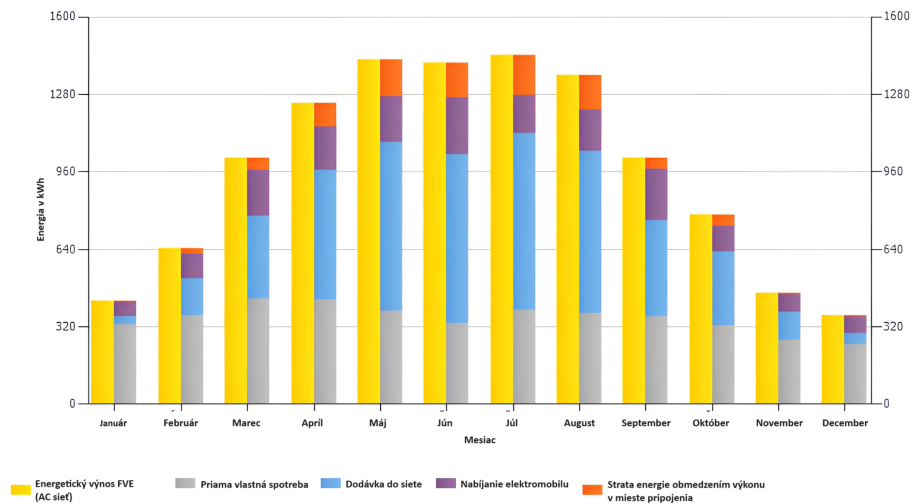
Strata je 859 kWh a následný pretok do siete je 4721kWh. Na obrázku je znázornený aj tok zo siete, ktorý je 3892kWh z čoho 2811kWh je spotreba domácnosti a zvyšok sa využíva na dobíjanie elektromobilu. Naznačené sú aj toky do batérií a z batérií. Pri nabíjaní a vybíjaní vznikajú straty, ktoré tvoria 204 kWh.



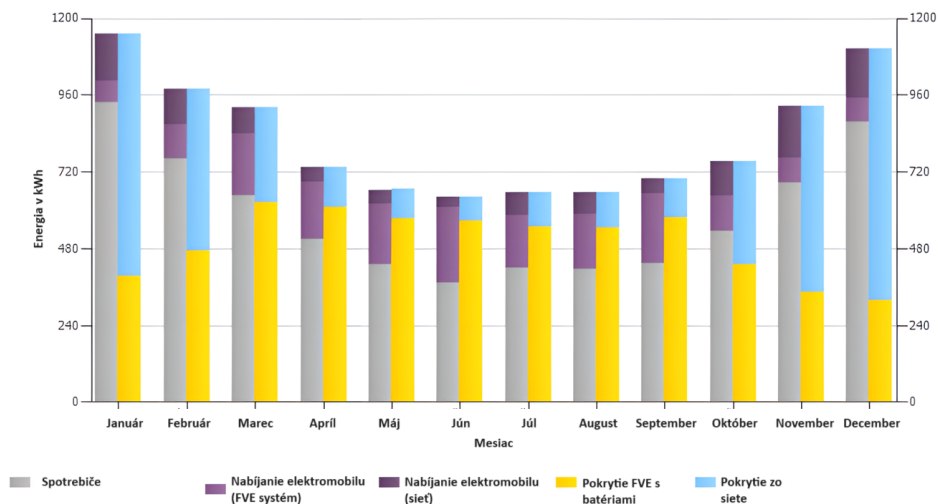
Obr. 3.7: Toky energie

Využitie FV energie a celkové krytie spotreby

Obr.3.8 znázorňuje ako sa využíva energia vytvorená FVE počas všetkých mesiacov v roku. Najvýnosnejšími mesiacmi v roku sú máj až august. Počas týchto mesiacov sú pretoky do siete najväčšie a tak isto aj straty energií kvôli obmedzeným pretokom do siete na 50%. Naopak práve cez zimné mesiace, sú pretoky do siete minimálne kvôli nízkej výrobe elektrickej energie ktorá ihneď nájde svoje využitie v rodinnom dome.



Obr. 3.8: Využitie FV energie



Obr. 3.9: Krytie celkovej spotreby

Obr.3.9 ilustruje ako energia z FVE pokrýva spotrebu domácnosti. Je vidieť, že počas letných mesiacov je spotreba rodinného domu najnižšia a vtedy je pokrytie spotreby FVE percentuálne najvyššie.

3.6.2 Ekonomická analýza

V programe PV*sol sa vykonala ekonomická analýza. Tento software umožňuje vyhodnotenie ekonomickej efektívnosti FVE. Zameriava sa nielen na samotnú produkciu energie, ale aj na aspekty ako náklady na inštaláciu, údržbu a vývoj cien energie.

V Tab.3.4 sú uvedené odhadované náklady za jednotlivé položky potrebné pre realizáciu FVE. Ceny sú aktuálne pre mesiac marec 2024 a sú získané z internetových obchodov. Ceny su udávané aj s DPH a je pravdepodobné, že v čase realizácie projektu sa môžu ceny líšiť, prípadne môže byť horšia dostupnosť vybraných komponentov.

Komponent	Počet kusov pre 5/10 kWp	Celková cena pre 5/10 kWp (Kč)	Doba používania (roky)
SolaX P. X3-H. G4 6/10 kW	1	42000/57750	10
TSM-450 NEG9R.28	12/22	31250/57500	30
Tigo TS4-A-O	12/22	12000/22000	30
T-BAT H5.8 V2 (T58 M+S)	1	77500/122500	10
Káble DC	-	4250	30
Káble AC	-	1000	30
DC rozvádzač	-	8500	30
AC rozvádzač	-	15000	30
Konštrukcia na panely	-	14000/38000	30
Inštalácia	-	33000/68000	30
Projektová dokumentácia	-	7500	30
Administratíva dotácie	-	5000	30
Revízia	-	3000	4

Tab. 3.4: Investície

Možnosť získania dotácie pre FVE je jedným z kľúčových parametrov pre zrýchlenie doby amortizácie. V dostupných prílohách je dokument B.4 s platnosťou od 15.2.2024, ktorý pojednáva všetky podmienky a pravidlá pre získanie dotácie. Maximálna možná dotácia pre rodinný dom siaha do výšky 160 tisíc Kč. Podľa nižšie uvedenej Tab.3.5 je vidieť, že základná podpora je v hodnote 35 tisíc Kč, kde s každým 1kWp inštalovaného výkonu je možnosť dostať ďalších 8 tisíc Kč a za 1 kWh el. akumuláčného systému s akumulátormi bez lítia rovnako 8 tisíc Kč. Jednoduchým počtom podľa rovnice (3.5) sa získa výsledok 195 tisíc Kč. Keďže je dotácia obmedzená maximálne na 160 tisíc Kč, tak návrh počíta s dotáciou 160 tisíc Kč.

$$35000 + (9 \times 8000) + (11 \times 8000) = 195000 \text{ Kč} \quad (3.5)$$

Inštalované časti systému FVE	Výška podpory (Kč)
Základná podpora	35000
Za 1kWp inštalovaného výkonu	8000
Za 1 kWh el. akumulačného systému s akumulátormi bez lítia	8000

Tab. 3.5: Dotácie[25]

Celková suma za FVE sa líši tým, či je inštalovaný výkon 5 alebo 10 kWp. Na základe inštalovaného výkonu sa teda odvíja aj možná dotácia. V prípade navrhovanej 10 kWp FVE je cena bez dotácie 410 tisíc Kč a po odrátaní nožnej dotácie je finálna suma 250 tisíc Kč.

Tab. 3.6: Investičné náklady

Návrh	Možná dotácia (Kč)	Investičné náklady (Kč)	
		Bez dotácie	S dotáciou
5 kWp FVE	123 000	254 000	131 000
10 kWp FVE	160 000	410 000	250 000

Ďalšou kľúčovou záležitosťou pri finančnej analýze je cena nízkej a vysokej tarify a v prípade pretokov, ktoré táto FVE má, tak isto aj výkupná cena za pretoky. Cena vysokej a nízkej tarify je nastavená podľa dostupných informácií z predošlých fakturačných období a zohľadnili sa aj aktuálne ceny energií dostupné na stránkach Eonu pre obdobie apríl 2024. Je pravdepodobné, že v čase realizácie projektu tieto hodnoty budú iné. Pre vysokú tarifu sa zvolila hodnota 4,5 Kč/ 1 kWh a cena pre nízku tarifu sa zvolila 4 Kč/ 1kWh. Cena za výkup elektrickej energie sa nastavila na 2 Kč/ 1kWh.

Detailný cash flow pre každý rok je zobrazený v Obr.3.10, cash flow je spočítaný na 30 rokov. V každom roku sa počíta s investíciami, dotáciami, výkupnou tarifou a úsporou energie. Výkupná tarifa predstavuje odkúpenú energiu, ktorá je predaná do siete. Úspora energie je využitá energia priamo z FVE v domácnosti, to znamená, že domácnosť nenakupuje energiu zo siete, ale využíva svoju vyrobenú energiu z FVE. Ročný finančný tok je suma, ktorá predstavuje rozdiel medzi ušetrenými financiami a investíciami za FVE.

Cash flow

	Rok 1	Rok 2	Rok 3	Rok 4	Rok 5
Investície	-410 000,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	-3 308,24 Kč
Podpory/Dotácie	160 000,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Výkupný tarif	7 217,83 Kč	9 050,46 Kč	8 924,80 Kč	8 800,74 Kč	8 678,26 Kč
Úspora energie	24 445,27 Kč	25 891,87 Kč	25 787,67 Kč	25 683,47 Kč	25 579,27 Kč
Ročný finančný tok	-218 336,90 Kč	34 942,33 Kč	34 712,47 Kč	34 484,21 Kč	30 949,29 Kč
Kumulovaný finančný tok	-218 336,90 Kč	-183 394,57 Kč	-148 682,10 Kč	-114 197,89 Kč	-83 248,60 Kč

Cash flow

	Rok 6	Rok 7	Rok 8	Rok 9	Rok 10
Investície	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	-3 648,15 Kč	0,00 Kč
Podpory/Dotácie	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Výkupný tarif	8 557,34 Kč	8 437,97 Kč	8 320,12 Kč	8 203,78 Kč	8 088,93 Kč
Úspora energie	25 475,08 Kč	25 370,87 Kč	25 266,67 Kč	25 162,49 Kč	25 058,28 Kč
Ročný finančný tok	34 032,42 Kč	33 808,84 Kč	33 586,79 Kč	29 718,12 Kč	33 147,20 Kč
Kumulovaný finančný tok	-49 216,18 Kč	-15 407,34 Kč	18 179,45 Kč	47 897,57 Kč	81 044,77 Kč

Cash flow

	Rok 11	Rok 12	Rok 13	Rok 14	Rok 15
Investície	-229 859,40 Kč	0,00 Kč	-4 022,99 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory/Dotácie	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Výkupný tarif	7 975,54 Kč	7 863,61 Kč	7 753,12 Kč	7 644,04 Kč	7 536,36 Kč
Úspora energie	24 954,08 Kč	24 849,88 Kč	24 745,69 Kč	24 641,48 Kč	24 537,29 Kč
Ročný finančný tok	-196 929,77 Kč	32 713,49 Kč	28 475,81 Kč	32 285,52 Kč	32 073,65 Kč
Kumulovaný finančný tok	-115 885,00 Kč	-83 171,51 Kč	-54 695,69 Kč	-22 410,17 Kč	9 663,47 Kč

Cash flow

	Rok 16	Rok 17	Rok 18	Rok 19	Rok 20
Investície	0,00 Kč	-4 436,34 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory/Dotácie	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Výkupný tarif	7 430,06 Kč	7 325,13 Kč	7 221,55 Kč	7 119,31 Kč	7 018,38 Kč
Úspora energie	24 433,09 Kč	24 328,90 Kč	24 224,69 Kč	24 120,49 Kč	24 016,30 Kč
Ročný finančný tok	31 863,16 Kč	27 217,69 Kč	31 446,24 Kč	31 239,79 Kč	31 034,67 Kč
Kumulovaný finančný tok	41 526,63 Kč	68 744,33 Kč	100 190,57 Kč	131 430,36 Kč	162 465,03 Kč

Cash flow

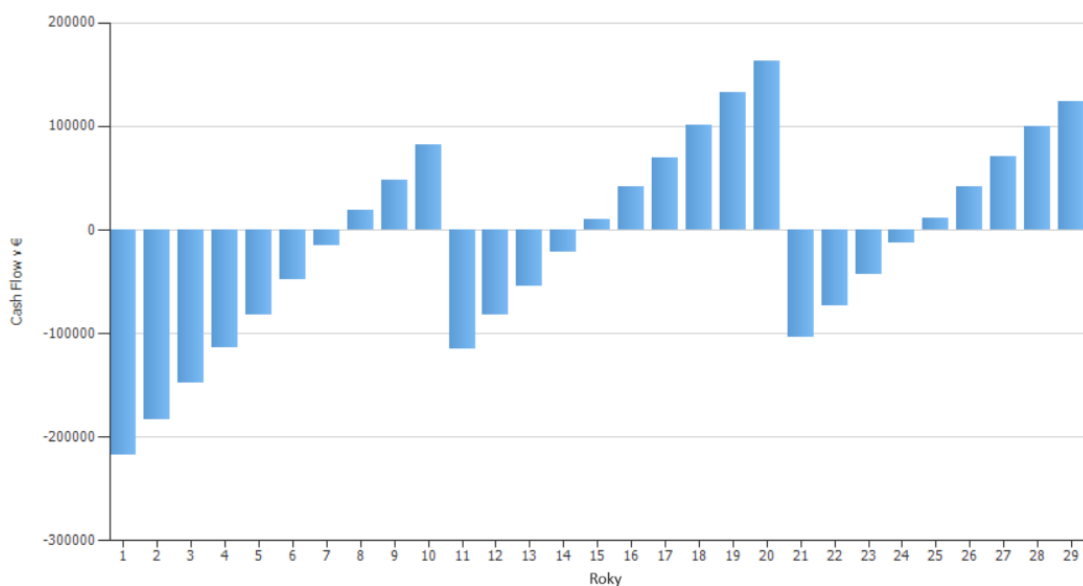
	Rok 21	Rok 22	Rok 23	Rok 24	Rok 25
Investície	-298 421,84 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	-5 394,82 Kč
Podpory/Dotácie	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Výkupný tarif	6 918,75 Kč	6 820,40 Kč	6 723,32 Kč	6 627,50 Kč	6 532,92 Kč
Úspora energie	23 912,10 Kč	23 807,90 Kč	23 703,71 Kč	23 599,50 Kč	23 495,31 Kč
Ročný finančný tok	-267 591,00 Kč	30 628,30 Kč	30 427,03 Kč	30 227,01 Kč	24 633,41 Kč
Kumulovaný finančný tok	-105 125,97 Kč	-74 497,66 Kč	-44 070,63 Kč	-13 843,63 Kč	10 789,79 Kč

Cash flow

	Rok 26	Rok 27	Rok 28	Rok 29	Rok 30
Investície	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	-5 949,12 Kč	0,00 Kč
Podpory/Dotácie	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Výkupný tarif	6 439,56 Kč	6 347,41 Kč	6 256,45 Kč	6 166,67 Kč	6 078,05 Kč
Úspora energie	23 391,11 Kč	23 286,90 Kč	23 182,71 Kč	23 078,51 Kč	22 974,32 Kč
Ročný finančný tok	29 830,67 Kč	29 634,31 Kč	29 439,16 Kč	23 296,06 Kč	29 052,37 Kč
Kumulovaný finančný tok	40 620,45 Kč	70 254,76 Kč	99 693,92 Kč	122 989,98 Kč	152 042,35 Kč

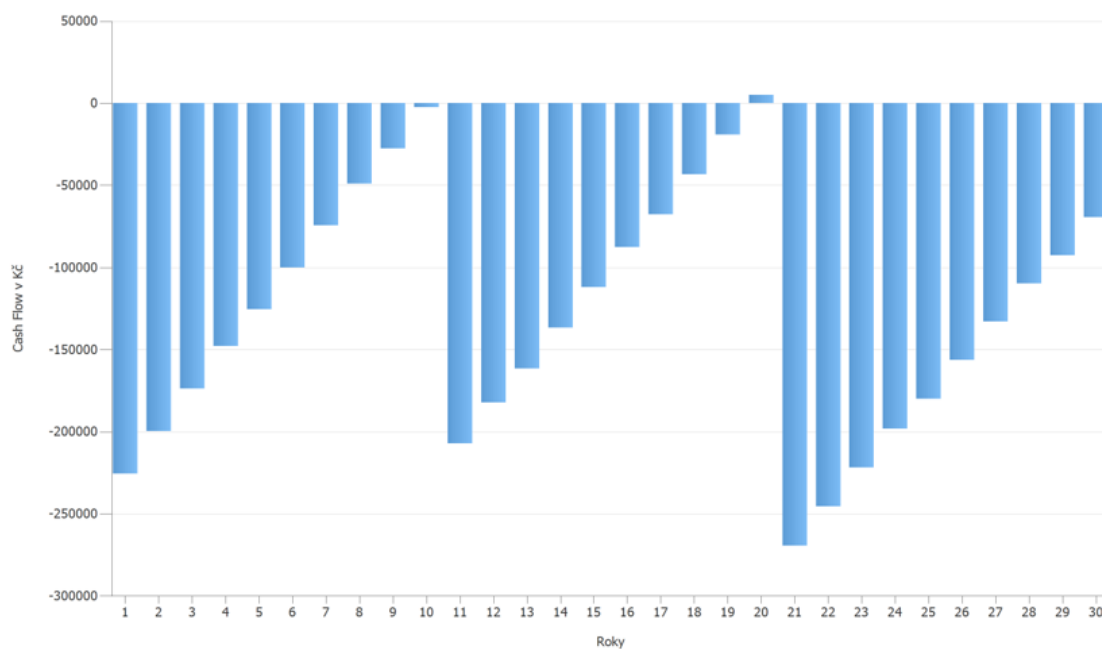
Obr. 3.10: Cash flow

Pre grafické zobrazenie je vhodný Obr.3.11, kde je naznačený komulovaný finančný tok. Je vidieť, že pri rokoch 11 a 21 je tok opäť v záporných číslach. Je to z dôvodu, že návrh počíta s najhorším možným prípadom a tým je, že po záruke garantovanej výrobcom sa budú musieť dané kompotenty vymeniť čo znamená opätovnú investíciu. Investícia je zohľadnená z momentálnej hodnoty komponentu s tým, že počíta s 3,5% infláciou. v skutočnosti môžu byť ceny meničov, či batérií o 10 alebo 20 rokov na iných hodnotách ako výpočet softwaru predpokladá. Avšak v realite tento prípad nemusí nastať a striedač môže byť stále funkčný aj po 10 rokoch a kapacita batérií môže byť stále dostatočujúca. Tým pádom by aj návrh vychádzal ekonomicky výhodnejšie.



Obr. 3.11: Komulovaný finančný tok Pi-10-E9-Pg50-S

V prípade, že pre tento návrh nebude možnosť pretokov do siete od distribútora, tak komulovaný finančný tok bude po celý čas sledovaného obdobia (okrem 10 a 20 roku) v záporných číslach a projekt sa tým pádom ekonomicky nevypláca. Na Obr.3.12 je vidieť priebeh počas sledovaného obdobia. Podobný charakter má aj verzia projektu, kde sú povolené pretoky ,ale nie je zaobstaraná dotácia. Z tohto hľadiska je teda veľmi dôležité, aby sa pred samotnou realizáciou projektu investor uistil, či budú pretoky povolené alebo nie.



Obr. 3.12: Komulovaný finančný tok Pi-10-E9-Pg0-S

3.6.3 Porovnanie návrhov

Tab.3.7 zahrňuje všetky realizované návrhy, ktoré sa vytvorili a spracovali v programe PV*Sol.

Tab.3.7 je zhotovená z viacerých dôležitých informácií, ktoré sú potrebné pre zhodnotenie každého z návrhu. Pre doplnenie informácií, 5kWp FVE má energetický výnos 6301kWh/rok a 10kWp FVE má energetický výnos 11582 kWh/rok. Jedným z najdôležitejších parametrov v Tab.3.7 je doba amortizácie, to znamená, aký dlhý čas trvá, kým sa investícia do FVE vráti a začne byť výnosnou.

Podľa tohto parametra je zoradená celá tabuľka, kde je vidieť, že za zváženie nad realizáciou stojí len pár prvých projektov z Tab.3.7. Zároveň je vidieť, že veľkú úlohu vo finančnej návratnosti FVE zohráva možnosť dotácie.

Z Tab.3.7 je zreteľné, že v prípade inštalácie FVE je veľmi dôležité, aby sa vyrobená energia spotrebovávala čo najviac, bez zbytočných pretokov do siete. A to z dôvodu, že pretoky nemusia byť povolené a tým pádom pri vyššej výrobe a nižšej spotrebe prichádzame o dostupnú energiu. V prípade, že sú pretoky povolené, tak ich výkup nie je až tak vysoký ako samotný nákup zo siete. Z tohto dôvodu je teda dôležité vyrobenú energiu hneď spotrebovať alebo uložiť do akumulátorov, z ktorých sa bude neskôr čerpať.

Tab. 3.7: Zhrnutie návrhov

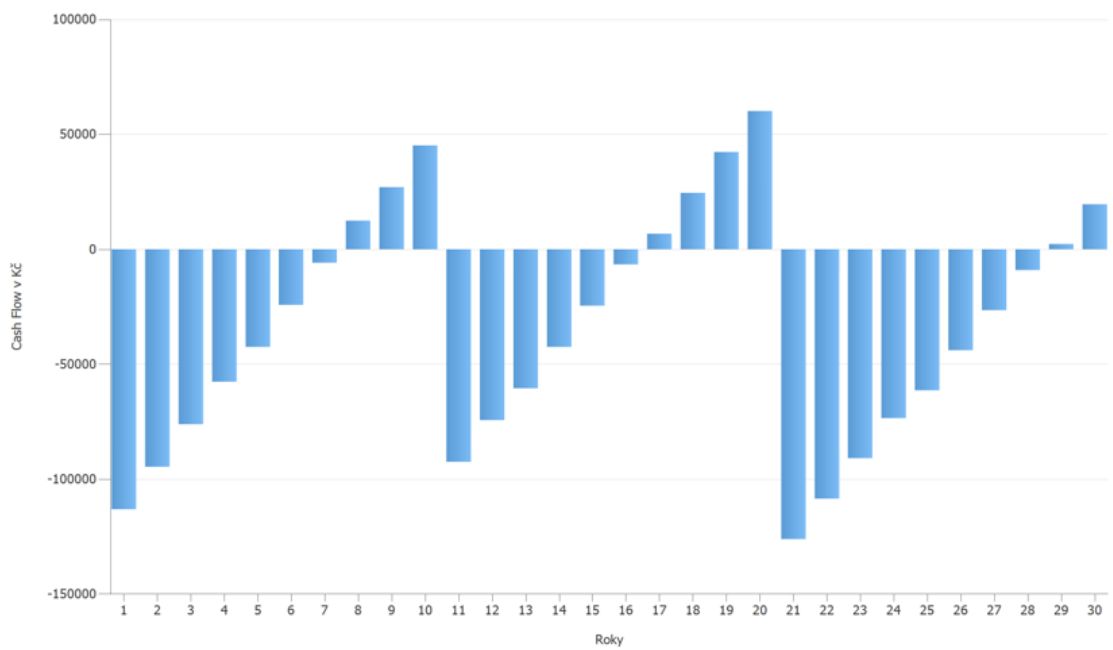
Návrh	Doba amortizácie (roky)	Strata energie v mieste pripojenia (kWh)	Podiel vlastnej spotreby (%)
Pi 5 E ₉ Pg ₅₀ S	7	304	67,4
Pi 5 E ₉ Pg ₀ S	8	2036	67,4
Pi 5 E ₄ Pg ₅₀ S	8	479	49,0
Pi 10 E ₉ Pg ₅₀ S	8	856	52,1
Pi 10 E ₄ Pg ₅₀ S	9	1189	34,4
Pi 10 E ₉ Pg ₀ S	10	5459	52,1
Pi 5 E ₉ Pg ₅₀ B	18	304	67,4
Pi 5 E ₉ Pg ₁₀₀ B	18	0	67,4
Pi 10 E ₉ Pg ₁₀₀ B	18	0	52,1
Pi 10 E ₉ Pg ₅₀ B	19	856	52,1
Pi 5 E ₉ Pg ₀ B	20	2036	67,4
Pi 5 E ₄ Pg ₀ S	>30	3167	49,0
Pi 5 E ₄ Pg ₅₀ B	>30	479	49,0
Pi 5 E ₄ Pg ₁₀₀ B	>30	0	49,0
Pi 5 E ₄ Pg ₀ B	>30	3167	49,0
Pi 10 E ₉ Pg ₀ B	>30	5459	52,1
Pi 10 E ₄ Pg ₅₀ B	>30	1189	34,4
Pi 10 E ₄ Pg ₁₀₀ B	>30	0	34,4
Pi 10 E ₄ Pg ₀ S	>30	7520	34,4
Pi 10 E ₄ Pg ₀ B	>30	7520	34,4

Tab. 3.8: Investičné náklady [25]

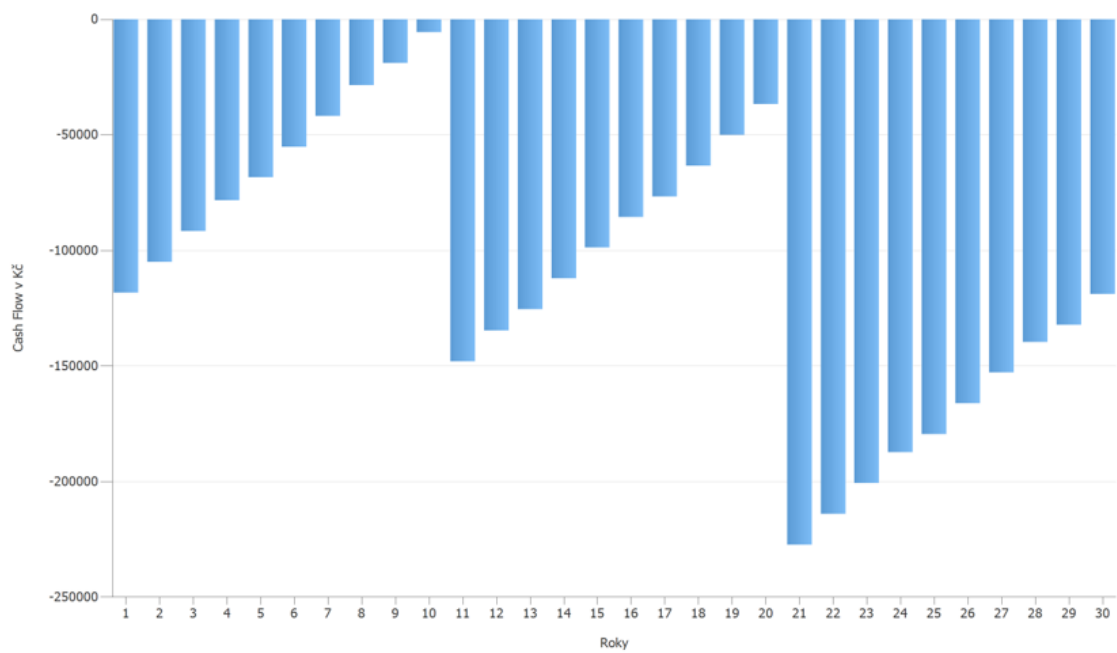
Návrh	Možná dotácia	Investičné náklady (Kč)	
		Bez dotácie	S dotáciou
5 kW _p FVE	123 000	254 000	131 000
10 kW _p FVE	160 000	410 000	250 000

Z Tab.3.7, kde bolo zoradených 20 návrhov, bola vybratá trojica ekonomicky najefektívnejších projektov (Pi-5-E9-PG50-S, Pi-5-E4-PG50-S a Pi-10-E9-PG50-S), ku ktorým boli vybrané totožné projekty ale bez možných pretokov (Pi-5-E9-PG0-S, Pi-5-E4-PG0-S a Pi-10-E9-PG0-S). Projekty bez pretokov boli vybrané na základe možnosti, že by FVE nemohla posielat pretoky do siete a tým pádom by bola ekonomická analýza výrazne zmenená.

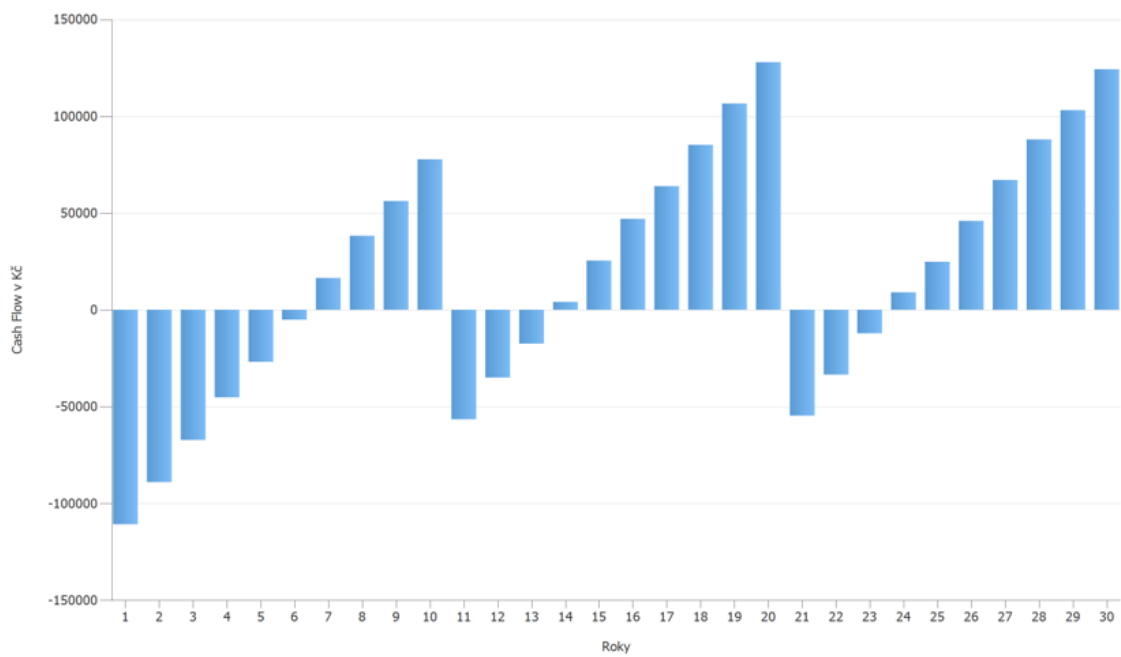
Kumulovaný finančný tok návrhu Pi-10-E9-PG50-S a Pi-10-E9-PG0-S je zobrazený na Obr.3.11 a Obr.3.12. Pre návrh Pi-5-E4-PG50-S a Pi-5-E4-PG0-S je tok zobrazený na Obr.3.13 a Obr.3.14. A kumulované finančné toky pre návrhy Pi-5-E9-PG50-S a Pi-5-E9-PG0-S sú zobrazené na Obr.3.15 a Obr.3.16



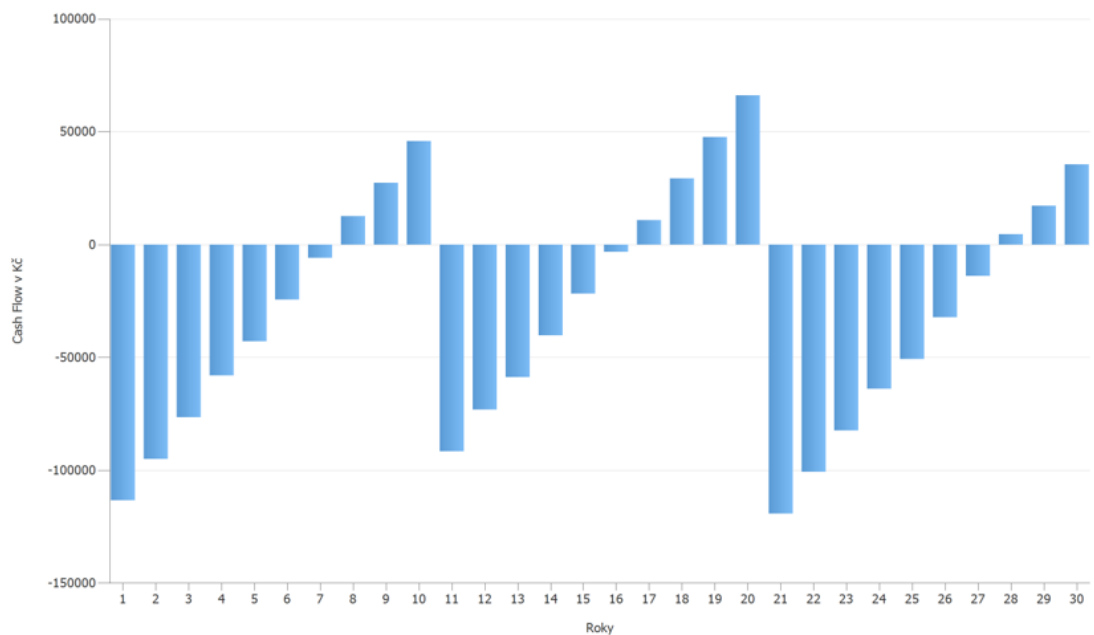
Obr. 3.13: Komulovaný finančný tok Pi-5-E4-PG50-S



Obr. 3.14: Komulovaný finančný tok Pi-5-E4-PG0-S



Obr. 3.15: Komulovaný finančný tok Pi-5-E9-PG50-S



Obr. 3.16: Komulovaný finančný tok Pi-5-E9-PG0-S

Z Obr.3.11 až 3.16 je zreteľné, že ako jediný ekonomicky zmyselný návrh, v prípade neumožnenia pretokov do siete, pripadá projekt Pi-5-E9-PG0-S, vzhľadom k tomu, že doba amortizácie je po ôsmych rokoch. Po desiatich rokoch je započítaná výmena batérií a meniča. Doba amortizácie od výmeny batérií a meniča je tentokrát za sedem rokov. Posledné sledované desaťročie má amortizáciu po ôsmych rokoch.

Do všetkých projektov boli započítané investície z Tab.3.4. Pri 5kWp FVE bola investícia značne menšia vid. Tab.3.4. Projekt na 5 kWp FVE bol teda lacnejší o 119 tisíc Kč, ak sa počíta aj a možnou dotáciou. Návrh Pi-5-E9-PG50-S vyšiel ako jediný ekonomicky výhodný aj pri situácii, že pretoky dovolené nebudú hlavne z dôvodu, že vysoká spotreba domácnosti zapríčinila efektívne využitie vyrobenej energie a v kombinácii s nižšími počiatočnými nákladmi a možnou dotáciou sa projekt vyplatí aj bez možnosti pretokov do siete.

Záver

Cielom tejto bakalárskej práce bol návrh fotovoltaickej elektrárne kategórie A1/A2 pre rodinný dom.

Prvá časť práce bola zameraná na teoretický rozbor, kde sa urobil rešerš a zrozumiteľný prehľad v PPDS článok 4 a smernice RfG pre FV výrobné kategórie A1/A2. Zároveň bolo cieľom urobiť rešerš dostupnej technológie v oblasti FVE a vhodných komponentov, ktoré budú následne využité pri návrhu FVE. Práca sa v teoretickej časti zaoberala aj rôznymi typmi fotovoltaických systémov (On-grid, Off-grid, Hybrid), kde bol stručne charakterizovaný ich princíp a využitie. Opísali sa aj druhy fotovoltaických panelov a ich technológie zamerané na zvýšenie výkonu. Pojednávalo sa aj o účinnosti panelov vzhľadom k ich polohe v oblasti Českej republiky. Zameralo sa ešte na striedače a akumulátory. Pri striedačoch sa popísal princíp, možné zapojenia a bod MPPT. V oblasti akumulátorov sa zaoberalo tromi najčastejšie používanými druhmi akumulátorov a ich hlavnými výhodami a nevýhodami. V závere sa popísali možné softwareové alternatívy programov na návrh FVE.

V praktickej časti tejto bakalárskej práce bolo zrealizovaných niekoľko návrhov fotovoltaickej elektrárne pre rodinný dom v obci Velké Meziříčí. Z dostupných informácií o objekte sa spracoval popis rodinného domu, kde bola zahrnutá spotreba za kalendárne roky 2020-2023, orientácia rodinného domu, sklon strechy a ďalšie dôležité dostupné parametre. Na základe týchto informácií bol vytvorený 3D model rodinného domu v presnej lokalite pomocou software PV*sol. Pre vytvorený 3D model sa následne vybrali vhodné komponenty, ktoré boli zadané do softwareu. Jedným z kľúčových krokov v návrhu bolo nastavenie hospodárnosti projektu, riešila sa vysoká a nízka tarifa pri odbere energie zo siete a tak isto aj predaj dostupnej energie distribútorovi. Pri návrhu sa počítalo aj s infláciou a údržbou fotovoltaickej elektrárne. Návrh počíta s najhorším možným prípadom a to takým, že komponenty budú slúžiť počas doby záruky a následne budú musieť byť vymenené. Bolo navrhnutých celkovo 20 projektov, pričom sa líšili v inštalovanom výkone, v spotrebe, a v závislosti od toho, či bude inštalované tepelné čerpadlo a zakúpený elektromobil. Posledné dve rozdelenia boli v možnosti pretokov do siete a v tom, či bude fotovoltaická elektráreň s dotáciou alebo bez nej. Zo všetkých návrhov bola následne spracovaná tabuľka, kde sa návrhy porovnávali podľa viacerých parametrov. Na základe parametrov z tabuľky 3.7 bol vybraný projekt Pi-10-E9-PG50-S. Pre tento projekt bola v programe BricsCad vytvorená jednopólová schéma a situačný výkres. Následne bola vypracovaná technická správa.

V energeticko-ekonomickej analýze sa pre projekt Pi-10-E9-PG50-S vyhodnotili energetické toky, využitie FV energie a celkové krytie spotreby. Výroba elektrickej energie za rok je 11,582 MWh, pričom z výroby sa v objekte využije 5,992 MWh a zvyšných 5,590 MWh preteká do siete, z ktorých 0,859 MWh je strata spôsobená obmedzením výkonu v mieste pripojenia. Podiel vlastnej spotreby teda činí 52,1% a stupeň využitia zariadenia je 92,37%.

V ekonomickej analýze sa pojednávajú jednotlivé náklady na projekt a možnosti dotácie. Na Obr.3.10 je spočítaný cash flow pre každý rok po dobu tridsiatich rokov. Doba amortizácie pri projekte vyšla 7,5 roka, kde 11-ty až 14-ty rok je opäť v záporných číslach kvôli výmene meniča a akumulátorov.

Na záver sa v práci porovnávajú tri ekonomicky najvýhodnejšie projekty, kde ako jediný projekt, ktorý má ekonomický zmysel aj v prípade, že nebudú možné pretoky do siete, vyšiel návrh Pi-5-E9-PG0-S. Dôvodom je, že investičné náklady na 5 kWp elektrárň sú o 119 tisíc Kč nižšie v porovnaní s 10 kWp elektrárnou. Podpora z programu NZÚ vo výške 123 tisíc Kč, spolu s využitím vyrobenej elektrickej energie na úrovni 67%, čo je najvyššia hodnota zo všetkých návrhov, výrazne ovplyvňuje ekonomickú analýzu. Projekty podporené dotáciou z NZÚ sú preto ekonomicky výhodnejšie v porovnaní s projektmi bez dotácie, ktoré nevychádzajú finančne priaznivo. Všetky prílohy sú dostupné elektronicky.

Literatúra

- [1] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ VÝROBEN A AKUMULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY. Online. Wwww.egd.cz. 2022. Dostupné z: https://www.egd.cz/sites/default/files/2022-09/priloha_4_pravidla_pro_paralelni_provoz_vyrobena_a_akumulacnich_zarizeni_09_2022.pdf. [cit. 2023-11-27].
- [2] MENCL, Dominik. Problematika připojování obnovitelných zdrojů do distribuční sítě. Bakalářská práce. V Plzni: Západočeská univerzita v Plzni, 2022. Dostupné také z: <https://otik.zcu.cz/handle/11025/48922>.
- [3] *Implementace nařízení komise (EU) 2016/631*. Online. 2016, s. 418. Dostupné z: <https://www.eru.cz>. [cit. 2023-11-27].
- [4] Lukáš Jörka Jörka. *NÁVRH FVE S AKUMULACÍ PRO KOMERČNÍ OBJEKT*. Diplomová práce. Brno, 2019.
- [5] MUJGOŠ, Michal. Solární systém na síti. Online. Evolt. Dostupné z: <https://evolty.cz/fve/system-na-siti/>. [cit. 2023-11-15].
- [6] PAVEL, Šimon. Virtuálna batéria-pomocník alebo marketingové kľamstvo? Online. Energiaweb. 2023. Dostupné z: <https://energiaweb.sk/2023/04/09/virtualna-bateria-pomocnik-alebo-marketingove-klamstvo/>. [cit. 2023-11-27].
- [7] MATAJS, Vladimír. Jak funguje ostrovní fotovoltaický systém? Online. Wwww.solarniexperti. 2015. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/jak-funguje-ostrovní-off-grid-fotovoltaický-system/>. [cit. 2023-11-27].
- [8] MATAJS, Vladimír. Jak funguje ostrovní fotovoltaický systém? Online. Solarniexperti. 2023. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/jak-funguje-ostrovní-off-grid-fv-system/>. [cit. 2024-01-20].
- [9] KULCSÁR, Peter. Ako fungujú solárne panely? Všetko, čo by ste mali vedieť o fungovaní solárnych panelov. Online. ElektrinaZoslnka. Dostupné z: <https://elektrinazoslnka.sk/baza-znalosti/ako-funguju-solarne-panely-vsetko-co-by-ste-mali-vediet-o-fungovaní-solarnych-panelov/>. [cit. 2023-12-23].
- [10] Monokryštalické vs. Polykryštalické solárne panely. Online. Unisolar. Dostupné z: <https://www.unisolar.sk/rady-a-tipy/monokrystalicke-vs-polykrystalicke-solarne-panely/>. [cit. 2023-12-26].

- [11] Rozdelenie fotovoltaických panelov. Online. Elektrolab. 2020. Dostupné z: <https://www.elektrolab.eu/blog/rozdelenie-fotovoltaickych-panelov>. [cit. 2023-12-26].
- [12] Half Cut (cell) technológia pre solárne panely design a výrobu. Online. Dsi-solar. 2019. Dostupné z: <https://sk.dsisolar.com/info/half-cut-technology-for-solar-panel-design-and-34867541.html>. [cit. 2023-12-26].
- [13] Aké existujú typy fotovoltických modulov? Online. Vykurovanie24. 2020. Dostupné z: <https://vykurovanie24.sk/magazin/aktuality/ake-existuju-typy-fotovoltickych-modulov/>. [cit. 2023-12-23].
- [14] What are shingled solar panels? Online. Acsolarwarehouse. Dostupné z: <https://www.acsolarwarehouse.com/news/what-are-shingled-solar-panels/>. [cit. 2023-12-26].
- [15] Miroslav Harant. *Využití solární energie pro elektromobilitu*. Diplomová práce. Brno, 2019.
- [16] Maximum Power Point Tracking. Online. Wikipedia. 2018, 2023. Dostupné z: https://de.wikipedia.org/wiki/Maximum_Power_Point_Tracking#/media/Datei:MaximumPowerPoint.svg. [cit. 2024-02-29].
- [17] MASTNÝ PH.D., doc. Ing. Petr; MORÁVEK PH.D., Ing. Ján a PITRON, Ing. Jiří. *Malé zdroje elektrické energie*. Skriptum. Brno: VUT-FEKT, 2015.
- [18] Solárne batérie. Online. Ecoproduct. Dostupné z: <https://ecoproduct.sk/c/solarne-baterie> [cit. 2023-12-28].
- [19] Na všetky elektrárne v našej ponuke je možné zabezpečiť Virtuálnu batériu. Online. Dostupné z: <http://www.elissun.eu/virtualna-bateria-pozicovna-elektriny/>. [cit. 2023-12-28].
- [20] BATTERY UNIVERSITY. Jak funguje olověný akumulátor? Online. Oze.tzb-info. 2017. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/16090-jak-funguje-oloveny-akumulator>. [cit. 2023-12-28].
- [21] LANE, Catherine. Are lithium-ion solar batteries the best energy storage option? Online. Solarreviews. 2023. Dostupné z: <https://www.solarreviews.com/blog/are-lithium-ion-the-best-solar-batteries-for-energy-storage>. [cit. 2023-12-28].
- [22] How lithium-ion batteries works? Online. Global.toshiba. Dostupné z: <https://www.global.toshiba/ww/products-solutions/battery/scib/product/module/sip/download/batteryschool/episode1.html>. [cit. 2023-12-28].

- [23] Čo sú batérie LiFePO4 ? Online. Klavesnica. 2021. Dostupné z: <https://www.klavesnica.sk/blog/co-su-baterie-lifepo4/>. [cit. 2023-12-28].
- [24] Valentin PV*SOL – Premium Solar Design Software. Online. Wwww.pvsol.co.za. 2023. Dostupné z: <https://pvsol.co.za/>. [cit. 2023-10-29].
- [25] Krok za krokom k dotaci z Nové zelené úsporám. Online. Novazelenausporam. 2023. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz/jak-na-to/krok-za-krokom/>. [cit. 2023-11-27].
- [26] *SOLÁRNÍ SESTAVA / 10kW měnič Solax X3-Hybrid G4 10.0-D G4 + baterie TRIPLE 11,6kWh.* <https://www.solar-eshop.cz/p/baterie-solax-triple-power-t58-s-vykonem-5-8kw/varianta-baterie-master/> [cit. 2024-05-09].
- [27] *Optimizér Tigo TS4-A-O max. 700 Wp.* <https://www.damijashop.cz/prislusenstvi-pro-fv-systemy/optimizer-tigo-ts4-a-o-max--700-wp/> [2024-05-09].

Zoznam symbolov a skratiek

<i>AC</i>	Striedavý prúd (Alternating current)
<i>ČSN</i>	Česká technická norma
<i>DC</i>	Jednosmerný prúd (Direct current)
<i>DOD</i>	Dovolená hĺbka vybitia
<i>DS</i>	Distribučná sústava
<i>DPH</i>	Daň z pridanej hodnoty
<i>FRT</i>	Premostenie poklesu napätia (Fault ride through)
<i>FV</i>	Fotovoltaický
<i>FVE</i>	Fotovoltaická elektrárň
<i>IP</i>	Ingress Protection
I_{mf}	Maximálne predpísané povolené istenie panelu v amperoch
I_n	Menovitý prúd nadprúdového ochranného prístroja
I_{sc}	Prúd fotovoltaického panelu na krátko
I_z	Maximálny zaťažovací prúd pre solárny vodič
<i>Kč</i>	Korún českých
<i>kWh</i>	Kilo watt hodín
<i>kWp</i>	Kilo watt peak
<i>LFSM – O</i>	Limited frequency sensitive mode
<i>LiFePo</i>	Lithium-Železo-Fosfátové
<i>Li – Ion</i>	Lithium-Iontove
<i>MPPT</i>	Maximum power point tracker
<i>MWh</i>	Mega watt hodín
N_s	Počet fotovoltaických panelov v jednom stringu
<i>Nn</i>	Nízke napätie

<i>NT</i>	Nízka tarifa
<i>NZÚ</i>	Nová zelená úsporám
<i>Obr</i>	Obrázok
<i>PDS</i>	Prevádzkovateľ distribučnej sústavy
<i>PPDS – 4</i>	Pravidlá prevádzkovania distribučnej sústavy článok 4
<i>p.j.</i>	Pomerná jednotka
<i>PPS</i>	Prevádzkovateľ prenosovej sústavy
<i>RfG</i>	Requirements for generation
<i>RoCoF</i>	Rate of change of frequency
<i>Tab</i>	Tabuľka
U_{oc}	Napätie fotovoltaiického panelu na prázdno
U_{po}	Vypočítané napätie pre prepätovú ochranu
<i>VM</i>	Vyrobný modul
<i>Vn</i>	Vysoké napätie
<i>VT</i>	Vysoká tarifa

Zoznam príloh

A	Návrhy FVE v software PV*sol	66
A.1	Pi 10-E9-Pg50-S	66
A.2	Pi 10-E9-Pg0-S	66
A.3	Pi 5-E9-Pg50-S	66
A.4	Pi 5-E9-Pg0-S	66
A.5	Pi 5-E4-Pg50-S	66
A.6	Pi 5-E4-Pg0-S	66
B	Technické dokumenty	67
B.1	Technická správa	67
B.2	Situačný výkres	67
B.3	Jednopolová schéma	67
B.4	Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory v podprogramu Nová zelená úsporám programu HOUSEnerg Modernizačního fondu	67
C	Datasheety/manuály ku komponentom	68
C.1	Datasheet panely	68
C.2	Datasheet menič	68
C.3	Manuál menič	68
C.4	Datasheet batérie	68
C.5	Manuál batérie	68
C.6	Datasheet Tigo-TS4-A-O	68
C.7	Manuál Tigo-TS4-A-O	68
C.8	Datasheet zdroju ku Tigo-TS4-A-O	68