



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 FV SYSTÉMU PRO KOMERČNÍ OBJEKT HOLEŠOV

PHOTOVOLTAIC SYSTEM PROJECT FOR THE HOLEŠOV COMMERCIAL BUILDING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Timotej Pospíšek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

BRNO 2024

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Timotej Pospíšek

ID: 240794

Ročník: 3

Akademický rok: 2023/24

NÁZEV TÉMATU:

Projekt FV systému pro komerční objekt Holešov

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznámení se s pravidly pro připojování a provoz zdrojů s inventory dle PPDS a RfG
2. Na základě podkladů k objektu zpracovat návrh FV výroby kategorie A2 s důrazem na využití vyrobené energie v místě výroby
3. Zpracování projektové dokumentace FVE ve stupni pro stavební povolení

DOPORUČENÁ LITERATURA:

doporučená literatura podle pokynů vedoucího závěrečné práce

Termín zadání: 5.2.2024

Termín odevzdání: 29.5.2024

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Mastný, 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 bakalárska práca sa zaoberá návrhom a realizáciou fotovoltického systému pre komerčný objekt v Holešove. Hlavným cieľom práce bolo vypracovať kompletný projekt fotovoltickej elektrárne kategórie A2, ktorý spĺňa požiadavky prevádzkovateľa distribučnej sústavy a zároveň maximalizuje využitie vyrobenej energie priamo na mieste výroby. Práca je rozdelená do troch hlavných častí: zoznámenie sa s pravidlami pre pripájanie a prevádzku zdrojov s invertormi podľa PPDS a RfG, návrh fotovoltického systému vrátane akumulačného zariadenia a spracovanie projektovej dokumentácie pre stavebné povolenie. Výsledky práce ukazujú, že navrhovaný systém je ekonomicky výhodný a prispieva k ekologicky čistej dodávke energie. Ekonomická analýza projektu, ktorá zahŕňa dostupné dotácie, potvrdzuje návratnosť investície do 8 rokov.

KLÍČOVÁ SLOVA

Fotovoltický systém, FV modul, FV panel, PPDS, RfG, akumulačné zariadenie, ekonomická analýza.

ABSTRACT

This bachelor's thesis focuses on the design and implementation of a photovoltaic system (PVS) for a commercial building in Holešov. The main objective was to develop a comprehensive project for a category A2 photovoltaic power plant that meets the requirements of the distribution network operator and maximizes the use of energy produced on-site. The work is divided into three main parts: familiarization with the rules for connecting and operating sources with inverters according to PPDS and RfG, design of the photovoltaic system including storage device, and preparation of project documentation for building permits. The results indicate that the proposed system is economically advantageous and contributes to environmentally clean energy supply. The economic analysis of the project, which includes available subsidies, confirms an investment return within 8 years.

KEYWORDS

Photovoltaic system, PV module, PV panel, PPDS, RfG, storage device, economic analysis

Bibliografická citácia

POSPÍŠEK, Timotej. *Projekt FV systému pro komerční objekt Holešov*[online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/240794>. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky, 2024, 87 s., 2 s. příloh. Bakalárska práca. Vedúci práce: doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Timotej Pospíšek
VUT ID autora: 240794
Typ práce: Bakalářská práce
Akademický rok: 2023/2024
Téma závěrečné práce: Projekt FV systému pro komerční objekt Holešov

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

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Rád by som sa poďakoval vedúcemu bakalárskej práce pánu doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D za odborné vedenie, konzultácie, trpezlivosť a podnetné návrhy k práci.

Obsah

Úvod	12
Ciele práce	13
1 Pravidlá pre pripojovanie a prevádzku synchronných a nesynchronných zdrojov	14
1.1 Rozsah platnosti	14
1.2 Rozdelenie a klasifikácia výrobných modulov	15
1.3 Frekvenčné a napätové rozsahy a časové limity pre VM	18
1.3.1 Hodnota zmeny frekvencie (RoCoF)	18
1.4 Zásady podpory siete	18
1.4.1 Statické riadenie napätia	19
1.4.2 Dynamická podpora siete	20
1.5 Požiadavky na prispôsobenie činného výkonu	24
1.5.1 Zníženie činného výkonu pri nadfrekvencii	25
1.5.2 Prípustné znižovanie činného výkonu pri podfrekvencii	25
1.5.3 Znižovanie činného výkonu závislosti od napätia	27
1.6 Diaľkové riadenie a výmena dát	28
1.7 Riadenie činného výkonu	28
1.8 Riadenia jalového výkonu	29
1.9 Automatické opätovné pripojenie	30
1.10 Spätne vplyvy na sieť	31
1.11 Meracie, riadiace a spínacie zariadenia	31
1.12 Ochrany	32
2 Fotovoltaické systémy rozdelenie a ich komponenty	33
2.1 Fotovoltaické panely	33
2.1.1 Typy fotovoltaických článkov	34
2.1.2 Parametre fotovoltaického článku	35
2.1.3 Skladba FV modulu	37
2.1.4 Vplyv orientácie a uhlu	39
2.2 Typy fotovoltaických systémov	40
2.2.1 On-grid systém	40
2.2.2 Off-grid systém	40
2.2.3 Hybridný systém	41
2.2.4 Zapojenie akumuláčného systému	43
2.3 Inventori a komponenty	45

2.3.1	Hybridné inventori	45
2.3.2	MPP-tracker	48
2.3.3	Optimizér	48
2.3.4	Zoznam doporučených inventorov od EG.D	49
2.4	Akumulačný systém	50
2.4.1	Druhy batériových akumulátorov	50
2.4.2	Systémy riadenia	51
2.5	Výpočty parametrov pre FV systémy	52
2.5.1	Tienenie FV modulov	52
2.5.2	Maximálny počet modulov v stringu	52
2.5.3	Minimálny počet FV panelov v strigu	53
2.5.4	Maximálny počet stringov	55
2.5.5	Dodatočné výpočty	56
2.5.6	Návrhový faktor inventora	57
2.5.7	Vzdialenosť od bleskozvodovej sústavy	58
3	Návrh FV systému s akumuláčným zariadením	59
3.1	Analýza objektu	59
3.1.1	Miestne podmienky	60
3.1.2	Účel systému	61
3.1.3	Spotreba objektu	62
3.2	Inštalácia FV systému	62
3.2.1	Výber FV modulov	64
3.2.2	Výber hybridného striedača	64
3.2.3	Výber akumuláčného systému	65
3.3	Topologické riešenie	66
3.4	FV Optimizéry	67
3.4.1	Zvýšenie energetického výnosu	67
3.4.2	Bezpečné dotykové napätie (funkcia rapid shutdown)	67
3.4.3	Monitoring	68
3.5	Konštrukcia FV modulov	68
3.6	Technické riešenie	69
3.7	Ekonomicko-energetická analýza	70
3.8	Výpočty FV systému	74
	Záver	77
	Literatura	79
	Seznam symbolů a zkratek	82

Seznam obrázků

1.1	Požiadavky na dodávku/odber jalového výkonu výrobných modulov v sieti NN pri menovitom napätí.	19
1.2	Jalový výkon VM A1, A2 pre $P=P_D$	20
1.3	Časový priebeh napätia v mieste pripojenia za podmienok poruchy pre nesynchronne výrobné moduly kategórie A1, A2, B1, B2 a C (FRT krivka)	21
1.4	Schopnosť preklenutia krátkodobého nadpätia VM A1, A2, B1, B2 a C	22
1.5	Znižovanie činného výkonu pri nadfrekvencii	25
1.6	Maximálne zníženie činného výkonu s klesajúcou frekvenciou.	26
1.7	Znázornenie frekvenčnej odozvy činného výkonu na podfrekvencii u akumuláčného zariadenia	27
1.8	Charakteristika funkcie $P(U)$	27
1.9	Charakteristika funkcie $Q(U)$	29
2.1	Náhradná schéma FV článku	33
2.2	Ukážka monokryštalického, polykryštalického a amorfné FV článku .	35
2.3	$A-V$ charakteristika pre rôzne intenzity žiarenia	36
2.4	Porovnanie skladby FV panelov sklo-fólia a sklo-sklo	37
2.5	Porovnanie technológie Half-cut so štandardnou	38
2.6	On-grid systému	40
2.7	Off-grid systému	41
2.8	Hybridný systém so spoločnou AC väzbou	42
2.9	Hybridný systém s spoločnou DC väzbou	43
2.10	Ukážka sériovo zapojeného akumuláčného systému	44
2.11	Ukážka paralelného zapojeného akumuláčného systému	44
2.12	Ukážka sériovo-paralelného zapojeného akumuláčného systému	45
2.13	Spôsoby zapojenia inventorov v FV systéme	46
2.14	Symetrický a Asymetrický striedač	47
2.15	Pracovný rozsah striedača a $V-A$ charakteristika FV výrobné pre rôzne teploty	48
2.16	Optimizér od spoločnosti tigo	49
2.17	Dimenzovanie inventora podľa Frauenhoferova inštitútu	58
3.1	Výrez zo situačného výkresu	59
3.2	Priemerná intenzita slnečného žiarenia za deň	60
3.3	Pohľad zhora 3D model v PV SOLE	63
3.4	Simulácia tienenia FV modulov počas roka	63
3.5	Topologia zapojenia	66
3.6	Tigo energy CCA a TAP	68

3.7	Príklad konštrukcie východ/západ	69
3.8	Kumulovaný finančný tok bez dotácie	73
3.9	Kumulovaný finančný tok s dotáciou	73
3.10	Výsledky pre jeden MPPT vstup	75
3.11	Výsledky pre menič	75

Seznam tabulek

1.1	Výkonové kategórie výrobní (výrobných modulov) elektrickej energie .	15
1.2	Prehľad požiadaviek pre rôzne kategórie VM	17
1.3	Prevádzkové frekvenčné rozsahy v sieti	18
1.4	Ochrany rozpadového miesta	32
2.1	Pomer dopadajúceho žiarenia pre rôzny sklon a orientáciu panelov . .	39
3.1	CANADIAN SOLAR HiKu6 Mono PERC CS6L - 450MS parametre .	64
3.2	Parametre striedača Solax-X3-Ultra	65
3.3	Parametre batérového systému T-BAT-SYS-HV-S22,5	66
3.4	Investície náklady + dotácia	71
3.5	Kontrola podmienok na získanie dotácií[1]	72
3.6	Energetická bilancia	72

Úvod

Projekt FV systému pre komerčný objekt Holešov.

V dnešnej dobe môžeme pozorovať veľkú zmenu energetického sektora naprieč celou Európou. Neustále zhoršujúce sa globálne otepľovania, ktorých následkom sú zvyšujúce sa teploty, roztápanie ľadovcov, menšie množstvo zrážok, stále väčšie výkyvy počasia a celkové zhoršenie klimatických podmienok pre život, nás nútia hľadať nové spôsoby, ako zabezpečiť ekologicky čisté dodávky energií. Preto najmä v EU môžeme pozorovať veľký prechod z tradičných elektrární, spaľujúcich fosílnych palív na obnoviteľné zdroje energie (OZE). K týmto obnoviteľným zdrojom do veľkej miery prispievajú FVE, ktoré sú vďaka stále napredujúcej technológii, znižovaniu cien a dotácii stále viac a viac konkurencieschopnejšie. Avšak taktiež nastávajú aj iné problémy, ktoré treba riešiť kvôli OZE. A to najmä akumuláciu energie a riadenie, keďže do veľkej miery nedokážeme ovplyvniť veľkosť vyrobeného výkonu.

Najskôr sa oboznámime s normami a pravidlami pre pripojovanie a prevoz zdrojov s inventory, podľa PPDS príloha č.4 a RfG., ktoré sú stanovené európskou úniou a distribútormi elektrických sietí. V našom prípade je prevádzkovateľom distribučnej siete spoločnosť EG.D.a.s.

Na základe poznatkov z teoretického rozboru následne prevedieme návrh FV výroby s akumuláciou. Prevedieme ho s veľkým dôrazom na množstvo využitej energie vyrobenej z FVE v objekte.

Posledným bodom bude vyhotovenie technickej dokumentácie pre stavebné povolenie, ktoré bude obsahovať: situačné výkresy, technickú správu, návrh FV systému, jednopólové schéma, zapojenie FVE, zapojenie rozvádzačov, rozmiestnenie FV panelov na streche, umiestnenie technológie FVE, rez nosnou konštrukciou FV panelu, návrh káblových trás.

Ciele práce

Cielom práce je spracovať kompletný projekt fotovoltických elektrární (FVE) kategórie A2, pre nový obchodný objekt podľa požadovaných podmienok od prevádzkovateľa distribučnej sústavy (DS).

Ciele práce sú špecifikované v úvode

- Zoznámenie sa s pravidlami pre pripájanie a prevádzku zdrojov s invertermi podľa PPDS a RfG.
- Na základe poskytnutých údajov o objekte vypracovať návrh fotovoltickej elektrárne (FV) kategórie A2 s dôrazom na využitie vyrobenej energie na mieste výroby.
- Spracovanie projektovej dokumentácie fotovoltických elektrární (FVE) kategórie A2 na úroveň pre stavebné povolenie.

1 Pravidlá pre pripojovanie a prevádzku synchrónnych a nesynchrónnych zdrojov

Všetky výrobné zariadenia elektrickej energie pripájané do distribučnej sústavy musia spĺňať určité požiadavky, ktoré slúžia na zabezpečenie bezpečného a spoľahlivého prevádzkovania elektrizačnej sústavy. Tieto požiadavky sú uvedené v dokumente Pravidlá prevádzkovania distribučnej sústavy (PPDS), konkrétne v prílohe č. 4: Pravidlá pre paralelnú prevádzku výrobní a akumulčných zariadení so sieťou prevádzkovateľa distribučnej sústavy [2]. PPDS príloha č.4 zahŕňa požiadavky vyplývajúce z českých noriem, ale tiež zahŕňa aj všeobecné požiadavky pre pripojenie výroby k elektrizačnej sústave v nariadení Európskej komisie (EU) 2016/631 - RfG [3]

S narastajúcim počtom decentralizovaných FVE, ktorých výroba je nepredvídateľná a časovo premenná, sa začínajú výraznejšie prejavovať ich negatívne vplyvy na kvalitu elektrickej energie v sieti, do ktorej sú FVE pripojené. Preto je dôležité zabezpečiť, aby sa tieto zdroje riadili požiadavkami uvedenými v prílohe č. 4 PPDS, ktoré sa týkajú hlavne povolených hodnôt spätných vplyvov na sieť, správania výrobní v sieti a nastavenia ich ochrán. [2].

V našom prípade sa budeme zaoberať nesynchrónnou výrobňou kategórie A2 viac v sekcií 1.2 Rozdelenie a klasifikácia výrobných modulov.

1.1 Rozsah platnosti

Tieto pravidlá sa vzťahujú na výrobné elektriky, ktoré sú pripojené na DS NN, VN alebo 110kV podľa PPDS príloha č.4 a to na plánovanie, úpravy a zriaďovanie výroby.[2]

Medzi tieto výrobné zahrňujeme:

- vodné elektrárne
- veterné elektrárne
- generátory poháňané tepelnými strojmi, napr. blokové teplárne, kogeneračné jednotky, spaľovanie bioplynu a biomasy
- geotermálne elektrárne
- fotočlánkové zariadenia

„Taktiež sem spadajú aj všetky uvedené výrobné s akumuláciou energie, samostatne pripojené akumulčné zariadenia, odborné elektrické zariadenia s akumuláciou elektrickej energie a prevádzkové miesta miestnych distribučných sietí s výrobnými elektrárnami bez akumulčných zariadení a s akumulčnými zariadeniami.“[2]

Podľa článku č.3 RfG [3] sa tieto pravidlá nevzťahujú na VM:

- určené ako záložné zdroje elektriky zapojené paralelne so sieťou menej než 5 minút každý kalendárny mesiac keď je sústava v normálnom stave.
- paralelne prevedená prevádzka počas skúšok a údržby.
- VM, ktoré nemajú trvalé miesto pripojenia a slúžia iba k dočasným dodávkam el. energie keď súčasná kapacita siete nie je dostupná alebo čiastočne obmedzená.

1.2 Rozdelenie a klasifikácia výrobných modulov

Podľa RfG sa kategórie elektrických výrobní delia na 4 druhy a to A, B, C, D, avšak podľa českej legislatívy sa kategórie A a B delia na ďalšie podkategórie A1, A2, B1, B2 viac tab.č.1.1.[3].

Tab. 1.1: Výkonové kategórie výrobní (výrobných modulov) elektrickej energie[2]

Kategórie výrobného modulu	Limit	Podkat.	Hranica PDS
A	800 W	A1	$\geq 800 \text{ W};$ $\leq 11 \text{ kW}$
		A2	$>11 \text{ kW};$ $<100 \text{ kW}$
B	1 MW	B1	$\geq 100 \text{ kW};$ $<1 \text{ MW}$
		B2	$\geq 1 \text{ MW};$ $<30 \text{ MW}$
C	50 MW	C	$\geq 30 \text{ MW};$ $< 75 \text{ MW}$
D	75 MW	D	$\geq 75 \text{ MW}$

Výkon sa ďalej posudzuje aj podľa toho či sa jedná o synchronný modul alebo nesynchronný [2]

- Synchronné výrobné moduly - Veľkosť výkonu sa posudzuje podľa jednotlivých výrobných modulov. Jedna sa hlavne o elektrárne so synchronnými generátormi, ale bez výkonovej elektroniky na výstupe.
- Nesynchronné výrobné moduly - veľkosť výkonu sa posudzuje podľa celkového výkonu výrobných modulov. Jedná sa o fotovoltaické elektrárne s akumuláciou ale aj bez nej, elektrárne s asynchronnými generátormi, ale aj synchronné generátory s výkonovou elektronikou na výstupe.

V tab.č.1.1 nie sú uvedené napäťové úrovne prípojných bodov do distribučnej siete, ale podľa čl. 5 RfG [3] sa napätie v mieste pripojenia VM rozdeľuje nasledovne [2]

- Nižšie ako 110kV - kategórie A až C
- Vyššie alebo rovne 110kV - Kategória D

Ďalej nám toto rozdelenie viacej špecifikuje PPDS príloha č.4 [2] na:

Pripojenie do siete NN. [4]

- Výrobne s inštalovaným výkonom do 800W
- Výrobne moduly kategórie A1, A2
- V špeciálnych prípadoch aj výrobné moduly kategórie B1

Pripojenie do siete VN.[4]

- Výrobné moduly kategórie B1, B2 a C
- V špeciálnych prípadoch aj výrobné moduly kategórie A2

Pripojenie do siete 110kV.[4]

- Výrobné moduly kategórie D s inštalovaným výkonom nad 10MW
- V špeciálnych prípadoch aj výrobné moduly kategórie D s menším inštalovaným výkonom ako je 10 MW

V prípade pripojenia jednofázovej výroby do siete NN je jej výkon obmedzený na maximálne na 3,7kVA

Prevádzkovatelia distribučných sietí si potom stanovujú svoje vlastné hodnoty maximálnej kapacity, ktoré sú uvedené v tabuľke 1.1 v stĺpci "hranica PDS". Maximálna prahová hodnota našej výroby by mala byť menšia alebo rovná hranici, ale treba brať na vedomie, že táto hodnota bude závisieť od lokácie kvôli preťažovaniu vedenia. Zavisí to od počtu už pripojených výrobní el. energie v danej lokalite na DS.[4]

Maximálna kapacita P_{max} sa rozumie trvalý činný výkon našej výroby po odčítaní vlastnej spotreby. [3]

Celkový prehľad jednotlivých požiadaviek s odkazmi na príslušné články v RfG[3] uvádza pre jednotlivé typy VM nasledujúca tabuľka 1.2.[2]

Tab. 1.2: prehľad požiadaviek pre rôzne kategórie VM od A1, A2, B1 a B2[2]

Článok RfG	Požiadavky Rfg	A1	A2	B1	B2
13.1a	Frekvenčné rozsahy a časové limity pre VM	X	X	X	X
13.1b	Hodnota rýchlosti zmeny frekvencie (RoCoF)	X	X	X	X
13.2	Obmedzenie frekvenčné závislého režimu pri nad frekvencií (LFSM-O)	X	X	X	X
13.4, 13.5	Dovolené zníženie činného výkonu pri klesajúcej frekvencii sústavy	X	X	X	X
13.6	Logické rozhranie pre prerušenie dodávky činného výkonu	X	X	X	X
13.7	Podmienky pre automatické pripojenie k sústave	X	X	X	X
14.2	Rozhranie pre zníženie činného výkonu		X	X	
14.3	Preklopenie poklesu napätia (FRT)	X	X	X	X
14.4	Opätovné pripojenie po poruche		X	X	X
14.5d	Komunikácia a výmena informácií			X	X
15.2a,b	Regulovateľnosť činného výkonu			X	X
15.2c	Obmedzenie frekvenčne závislého režimu pri pod frekvencií (LFSM-U)				X
15.5a	Schopnosť štartu z tmy				X
15.6b	Prístrojové vybavenie			X	X
15.6c	Simulačný model				X
15.6e	Minimálne a maximálne limity rýchlosti zmeny činného výkonu				X
20.2a	Dodávka jalového výkonu u nesynchronných VM		X	X	
20.2b,c	Rychlý poruchový prúd v prípade poruchy			X	X
20.3	Obnova činného výkonu po poruche		X	X	X
21.2	Umelá zotrvačnosť				X
21.3b,c	Dodávka jalového výkonu				X
21.3d	Režimy regulácie jalového výkonu				X
21.3e	Priorita príspevku činného alebo jalového výkonu			X	X
21.3f	Tlmenie výkonových oscilácií				X

1.3 Frekvenčné a napäťové rozsahy a časové limity pre VM

Frekvencia v sieti je premenná jednotka, ktorá sa mení v závislosti od výroby a spotreby el. energie, táto nerovnováha spôsobuje odchýlky v sieti od našej nominálnej hodnoty 50Hz. Veľká odchýlka môže spôsobiť odpojenie výroby od siete čo je nežiaduce, lebo toto riešenie môže zhoršiť odchýlku a môže spôsobiť zrútenie siete.

Výrobný modul musí byť schopný ostať pripojený do siete a pracovať v rozsahoch po dobu uvedenej v tabuľke 1.3. táto podmienka platí pre všetky výkonové kategórie[5]:

Tab. 1.3: Prevádzkové frekvenčné rozsahy v sieti[2]

Rozsah frekvencie	Doba prevádzky
47,5 - 48,5 Hz	30 minút
48,5 - 49 Hz	90 minút
49 - 51 Hz	neobmedzene
51 - 51,5 Hz	30 minút

Pre výrobu el. energie tiež platí požiadavka na napäťový rozsah, pre ktorú musí byť výrobná schopná stále chodu v mieste pripojenia.

Pripojenie výroby do siete NN platí, že výroba s výkonom do 800 W a kategórie A1 a A2 musia byť schopné trvalej prevádzky, keď napätie v mieste pripojenia je v rozsahu $-15\% U_n$ až $+10\% U_n$. Pokiaľ výstupné U je väčšie ako U_n , tak je dovolené výrobniam znížiť výstupný výkon a to tak, aby odpovedal relatívnej zmene napätia $(U_n - U)/U_n$. [4]

1.3.1 Hodnota zmeny frekvencie (RoCoF)

Podľa PPDS príloha č.4 sa rýchlosť zmeny frekvencie siete (RoCoF), pre VM nesmie odpojiť od siete, keď je zmena frekvencie v medziach ± 2 Hz/s, "pričom *RoCoF* je mierená ako stredná hodnota derivácie frekvencie v časovom intervale 500 ms." [5]

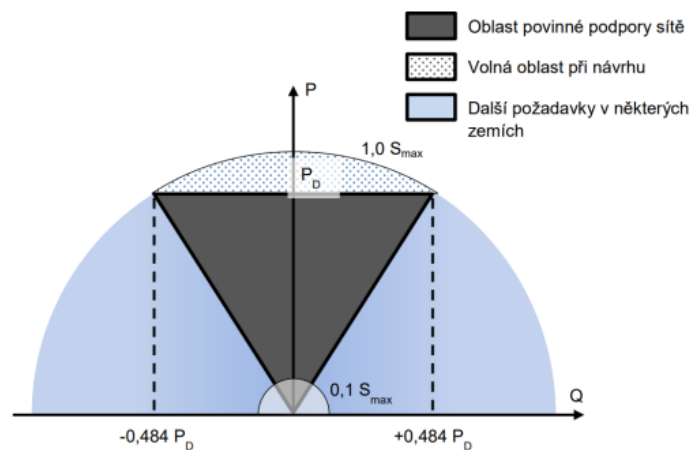
1.4 Zásady podpory siete

Výrobné musia byť schopné pri dodávkach do siete podieľať sa na udržiavaní napätia, a pritom sa to rozdeľuje na statickú a dynamickú podporu siete. Požadované hodnoty a charakteristiky nám udáva prevádzkovateľ distribučnej siete. Dodržanie zadaných hodnôt nám zaisťuje automatické riadenie výrobní.[2]

1.4.1 Statické riadenie napätia

podľa PPDS prílohy č.4 je "statické udržovanie napätí v sieti je udržovanie napätí ve smluvne stanovených medziach za normálneho provozu v sieti při pomalých změnách napětí." [2]

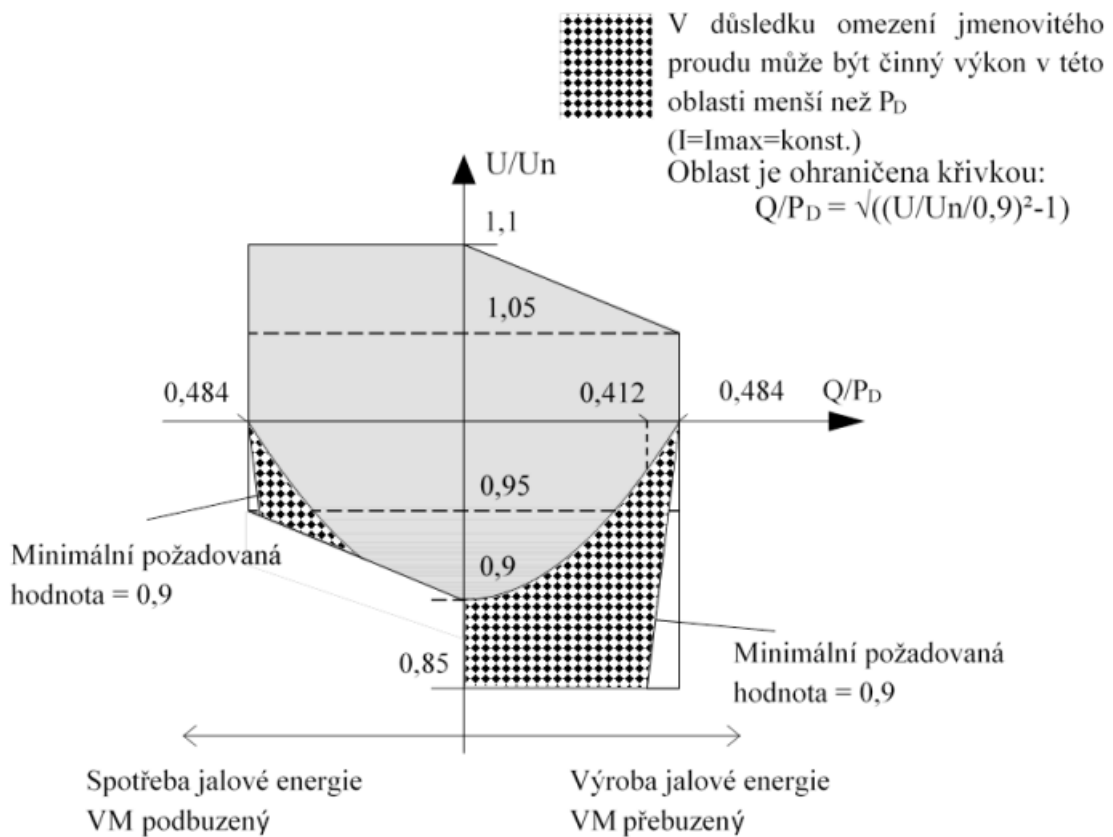
Výkyvy napätia musia ostať v medziach ako je uvedené v sekcii č.1.3. Výrobné moduly sa musia na tejto požiadavke podieľať, pri statickom riadení za pomoci jalového výkonu v rozsahu účinku výrobné od 0.9 kapacitnej až do 0.9 induktívnej. [2]



Obr. 1.1: Požiadavky na dodávku/odber jalového výkonu výrobných modulov v sieti NN pri menovitom napätí. [2]

Na obrázku 1.1 sme graficky znázornili minimálne, ale aj nepovinné požiadavky dodávky/odberu jalového výkonu pri menovitom napätí, ktorý platí na kategórie VM A1, A2 pripojených na sieť NN, kde P_d je navrhovaný výkon výrobné a S_{max} je maximálny zdanlivý výkon výrobné. [2][6]

Pre napätia odlišné od menovitého napätia, ale stále v rozsahu napätí pre trvalú prevádzku sú uvedené medze pre minimálne požiadavky pre VM A1, A2 na obrázku 1.2 nižšie.: [2]



Obr. 1.2: Jalový výkon VM A1, A2 pre $P=P_D$ [2]

1.4.2 Dynamická podpora siete

V porovnaní so statickou podporou je rozdiel ten, že statická podpora siete riešila udržanie napätia pri normálnom prevádzkovom stave, zatiaľ čo dynamická podpora siete sa snaží preklenúť poruchový stav.

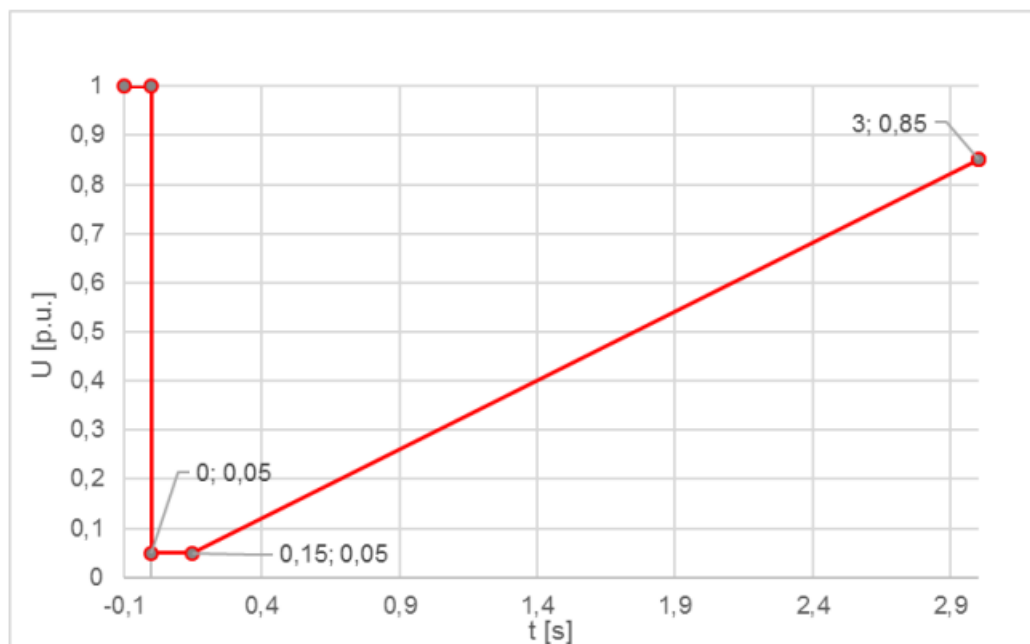
Rozumie sa udržovanie napätia pri poklesoch napätia v sieti VVN a ZVN, aby sme zamedzili nežiaducim odpojeniam výkonov napájajúcich siet NN a VN a následnému rozpadu siete, preto aj výrobne v sieti NN, VN a 110kV sa musia zúčastňovať na dynamickej podpore siete.

Najmenšia hodnota napätia sa posudzuje v sieti NN ako najmenšia fázová, pokiaľ máme zapojenie bez pracovného vodiča, tak sa určuje podľa najmensej združenej hodnoty napätia, ako napríklad v sieťach VN a 110kV.[2]

Preklenutie poruchy pri krátkodobom poklesu napätia (Undervoltage ride through - UVRT)

Na definíciu kedy sa výrobná môže odpojiť používame FRT krivky („fault-ride-through“). Tieto krivky nám charakterizujú napätie v čase, kedy sa výrobná nesmie odpojiť od siete. V prípade, že sa napätie bude nachádzať pod definovanou krivkou, tak sa výrobná môže odpojiť.[2]

Pre nesynchronne výrobné moduly A1, A2, B1, B2 a C je FRT krivka definovaná nasledovne:



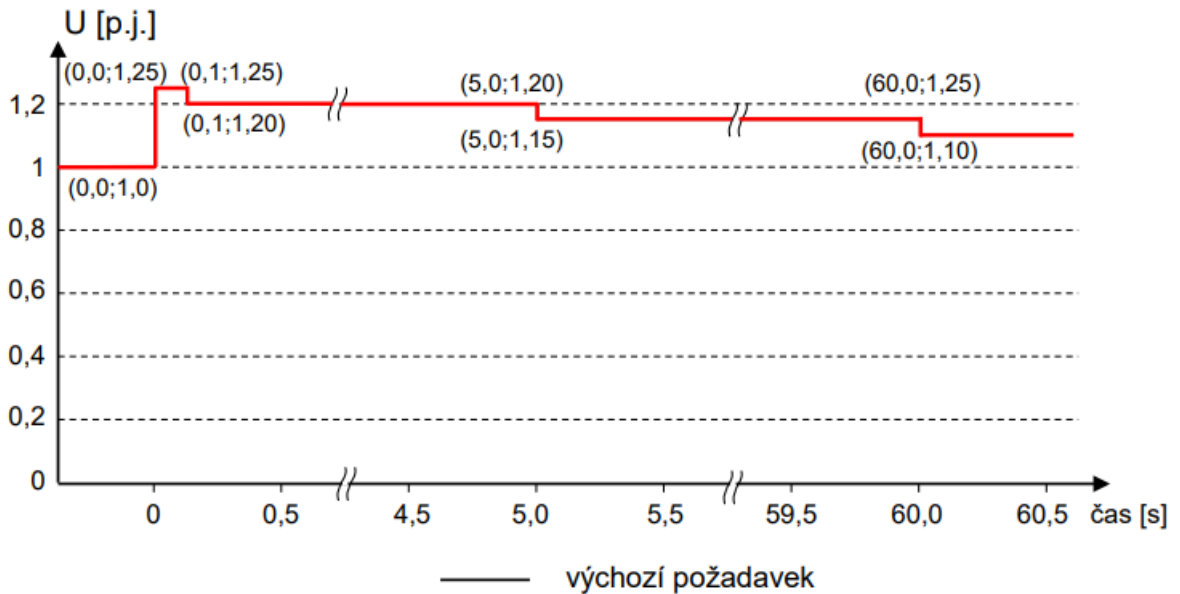
Obr. 1.3: Časový priebeh napätia v mieste pripojenia za podmienok poruchy pre nesynchronne výrobné moduly kategórie A1, A2, B1, B2 a C (FRT krivka) [2]

Preklenutie poruchy pri krátkodobom nadpätí (OVRT)

Pri krátkodobom nadpätí musia ostať výrobné moduly kategórie A1, A2, B1, B2 a C ostať pripojené, dokým napätie na vývodoch neprekročí hornú medzu rozsahu napätia pre trvalú prevádzku (časový priebeh je zobrazený na obrázku 1.4):[2]

- do úrovne 120% dohodnutého napätia po dobu 1 sekundy
- do úrovne 115% dohodnutého napätia po dobu 60 sekúnd

Ak sa jedná o zapojenie do siete s opätovným zapnutím, tak sa odpojenie musí dostaviť v priebehu beznapätovej prestávky. Prevádzkovateľ distribučnej siete stanovuje, ktoré výrobné sa musia podieľať na dynamickej podpore siete podľa ich predpokladaných technických možností. "To se děje zadáním nastavení pro rozpadovou síťovou ochranu." [2]



Obr. 1.4: Schopnosť preklenutia krátkodobého nadpätia VM A1, A2, B1, B2 a C [2]

Požiadavky na skratový prúd nesynchronných VM

Prevádzkovateľ distribučnej siete má právo stanoviť schopnosť poskytovať rýchly skratový prúd nesynchronných VM kategórie B1, B2 C a D, v mieste pripojenia v prípade symetrických (trojfázových) porúch. [3]

Pokiaľ ide o poskytovanie rýchleho poruchového prúdu v prípade asymetrických (jednofázových alebo dvojfázových) porúch, príslušný prevádzkovateľ sústavy v koordinácii s príslušným PPS má právo stanoviť požiadavku na asymetrický prívod prúdu.

Obnovenie činného výkonu po poruche

Keď v sieti nastane porucha, počas ktorej nedôjde k odpojeniu výrobného modulu od siete, musí tento nesynchronný výrobný modul kategórie A2, B1, B2, C a D po poruche obnoviť dodávky činného výkonu do siete na hodnotu pred poruchou alebo na maximálnu hodnotu s ohľadom na dostupný zdroj, a to s povolenou odchýlkou +/- 5% do 1 sekundy po tom, ako hodnota napätia dosiahne 85% z pôvodnej hodnoty.[2]

Pokiaľ ale výrobný modul dodáva počas poruchy hlavne jalový výkon, tak obnova činného výkonu nastane až po dosiahnutí 95% z pôvodnej hodnoty a ukončí sa tak do 1 sekundy.[2]

Nesynchronne výrobné moduly B1, B2, C a D musia pri poruche dodávať hlavne jalový výkon pred činným.[2]

Tlmenie výkonových oscilácií

Schopnosť tlmiť výkonové oscilácie (systémové kyvy) pri nesynchronných výrobných moduloch sa preukazuje meraním alebo simulačným výpočtom.

Aktivácia tlmenia je pre VM kategórie B2,C a D alebo na požiadavku prevádzkovateľa.[2]

Umelá zotrvačnosť

Synchronne výrobné moduly majú prirodzenú schopnosť odolávať zmenám frekvencie alebo ich dokonca aj spomaliť. Táto schopnosť chýba pri nesynchronných výrobných moduloch a celkovo u OZE. Z tohto dôvodu musíme prijať protiopatrenie v podobe umelej zotrvačnosti.[2, 3]

„Umelá zotrvačnosť je schopnosť jednotky parku zdrojov alebo siete HVDC, nahradiť účinok zotrvačnosti synchronnej jednotky na výrobu elektrickej energie pri predpísanej úrovni výkonnosti.”[3]

Táto podmienka je požadovaná pre VM pri kategórii B2,C a D [2]

Schopnosť štartu z tmy

Touto schopnosťou myslíme, že výrobný modul pripojený do DS je schopný obnoviť prevádzku po úplnom vypnutí výroby, napríklad prostredníctvom pomocného zdroja energie, ale bez dodania elektrickej energie zo siete.[3]

Táto schopnosť nie je povinná. Pokiaľ však štart z tmy je požadovaný, tak výrobné moduly kategórie C, D a B2[2]

Schopnosť ostrovnej prevádzky

Schopnosť podieľať sa na ostrovnej prevádzke musia výrobné moduly kategórie C a D. VM v ostrovnej prevádzke musia byť schopné znížiť činný výkon na výstupe aspoň na 55% zo svojej maximálnej kapacity. Kvôli prípadu prebytku výkonu, aby sme sa dokázali pohnúť zo súčasného pracovného bodu na akýkoľvek nový pracovný bod v rámci P-Q diagramu[2]

Výrobné elektrickej energie, ktoré pri poruchách prejdú na ostrovný režim na pokrytie vlastnej spotreby, sa musia až do odpojenia od siete podieľať na podpore siete. Detekcia prechodu na ostrovnú prevádzku je daná zmenou frekvencie a napätia ktoré sú monitorované.[2]

Ostrovný režim je treba odsúhlasiť s prevádzkovateľmi distribučnej siete v rámci požiadavok na pripojenie a je spolukoordinované s PPS.[2]

Rýchle opätovné prifázovanie.

Opätovné prifázovanie VM musí byť s dohodnutou stratégiou ochrany, medzi PDS s koordináciou PPS a majiteľom výrobné.[3]

VM s minimálnym časom opätovného prifázovania dlhším ako 15 minút pri odpojení od všetkých externých zdrojov, musia byť konštruované tak, aby boli odpojiteľné od akéhokoľvek pracovného bodu uvedeného v jeho prevádzkovom diagrame P-Q, aby ich bolo možné vypnúť na prevádzku na vlastnú spotrebu.

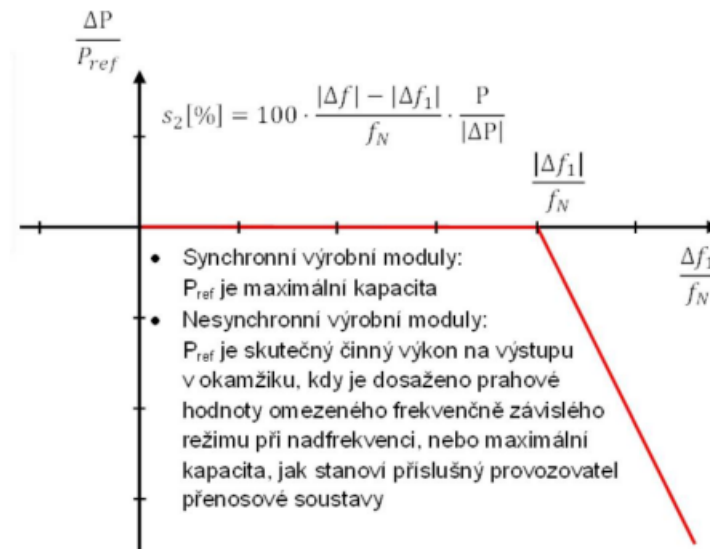
1.5 Požiadavky na prispôsobenie činného výkonu

Prispôsobenie činného výkonu musí byť, lebo frekvencia v sieti je veľmi závislá na bilancii činného výkonu v sieti.

Kvazi, snažíme sa dodržať pravidlo vyrobená energia=spotrebovaná energia. Preto boli stanovené také podmienky, aby všetky výrobné el. energie pripojené do DS boli schopné znižovať svoj činný výkon automaticky, na základe zmeny frekvencie v sieti alebo podľa rozkazu z dispečingu PDS. Tie výrobné, ktoré nie sú schopné tieto požiadavky splniť, musia byť automaticky odpojené od DS.[2, 4]

1.5.1 Zníženie činného výkonu pri nadfrekvencii

Pokiaľ nastane v sieti zvýšenie frekvencie, musí výrobnia aktivovať schopnosť frekvenčnej odozvy, ako je uvedené na obrázku 1.5 kvázi, výrobnia musí znižovať svoj dodávaný činný výkon do siete.[2, 3]



Obr. 1.5: Znižovanie činného výkonu pri nadfrekvencii.[2]

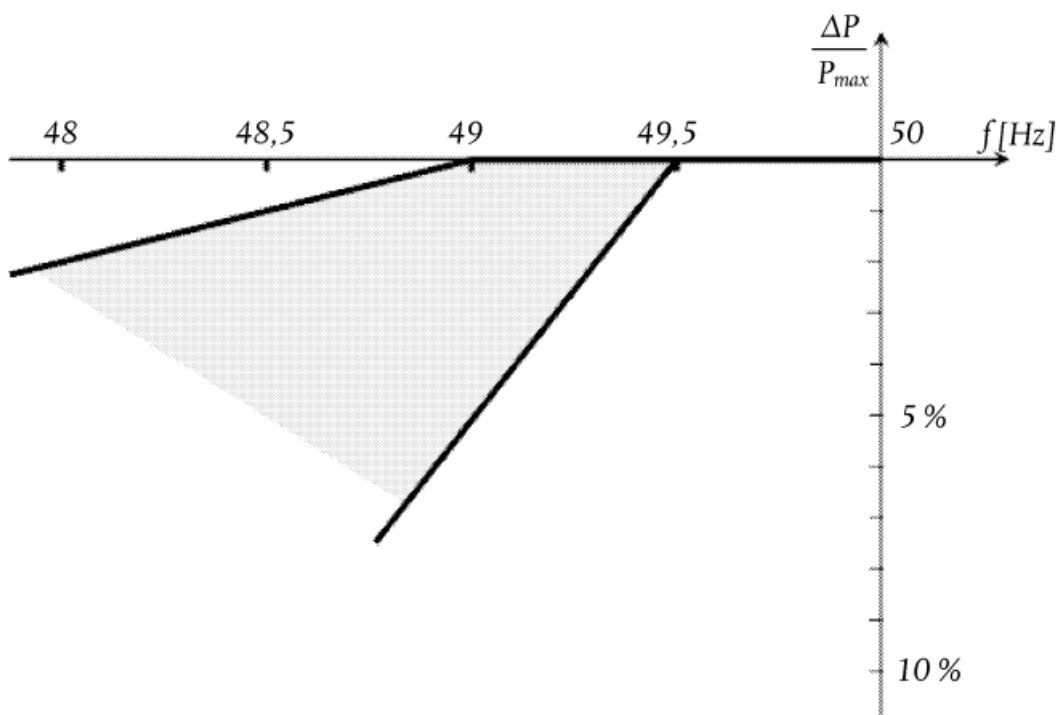
Dodávka činného výkonu môže byť opäť zvyšovaná až pokiaľ frekvencia v sieti dosiahne $f \leq 50,05$ Hz alebo po povolení technického dispečingu PDS. Rozsah necitlivosti musí byť do 10 mHz.[2]

1.5.2 Prípustné znižovanie činného výkonu pri podfrekvencii.

Znižovanie činného výkonu pri podfrekvencii je nežiaduce, preto sú určené podľa RfG[3] hranice ako môžu výrobnie el. energie znižovať svoju dodávku činného výkonu do siete z maximálnej hodnoty uvedené na obrázku 1.6 [2].

V niektorých prípadoch s ohľadom na technické schopnosti výrobných modulov sa pripúšťa zníženie maximálneho výkonu pri poklese frekvencie siete a to:[3]

- 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



Obr. 1.6: Maximálne zníženie činného výkonu s klesajúcou frekvenciou.[3]

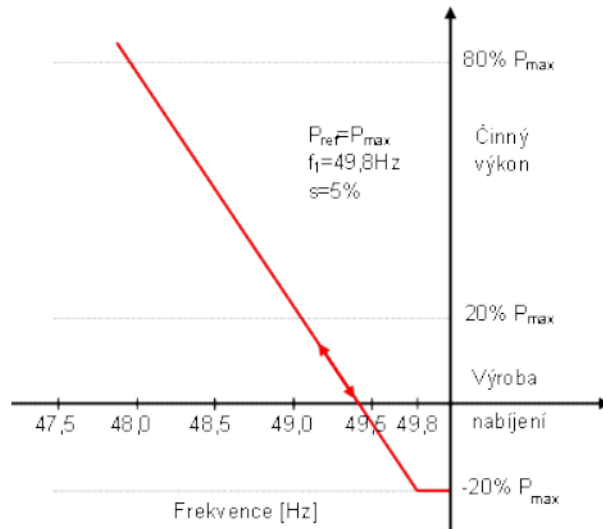
Frekvenčná odozva činného výkonu akumuláčného zariadenia pri podfrekvencií.

U elektrických akumuláčných zariadení taktiež musí byť frekvenčná odozva na podfrekvenciu v režime dodávky, ale aj v režime odberu, pričom musí byť schopná sa počas prevádzky prepínať medzi nimi.

Odozva činného výkonu musí byť pri programovateľnej medznej frekvencii a to medzi 49,8 a 49,5, pri programovateľnej statike od 0,1 % do 12 %. Referenčný výkon P_{ref} je P_{max} . Aktivácia tejto odozvy musí byť tak rýchla, ako je to technicky možné s vlastným oneskorením maximálne do 2s a s odozvou 30s.[2].

Po aktivácii musí táto odozva používať aktuálnu hodnotu frekvencie a reagovať na jej rast a pokles podľa naprogramovanej statiky s presnosťou $\pm 10\%$ menovitého výkonu, nepresnosť merania frekvencie môže byť do ± 10 mHz.

Pokiaľ frekvencia klesne pod 49Hz musí byť akumuláčné zariadenie automaticky prepnuté do režimu dodávky činného výkonu, pokiaľ zariadenie nie je tohto schopné, tak musí byť automaticky odpojené.[2]

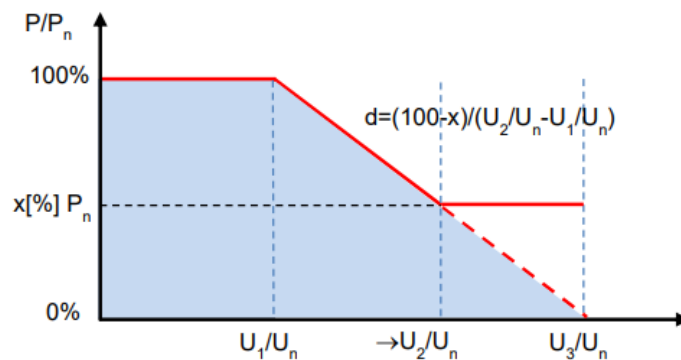


Obr. 1.7: Znázornenie frekvenčnej odozvy činného výkonu na podfrekvencii u akumulačného zariadenia[2]

1.5.3 Znižovanie činného výkonu závislosti od napätia

Všetky výrobné elektrickej energie pripojené do distribučnej siete na hladine NN musia byť podľa PPDS príloha č.4 budú vybavené generátormi s funkciou pre riadenie napätia činným výkonom. [2]

Cieľom je zabrániť odpojovaniu výrobní, kvôli zvýšenému napätiu v mieste pripojenia a odbavenia nadpätovými ochranami. Preto je výrobniam dovolené automaticky znížiť dodávku činného výkonu do siete, a tým pádom zredukovať napätie v mieste pripojenia a zabrániť odbaveniu nadpätových ochrán podľa výrobcov zvolenej logiky. $P(U)$ charakteristika je znázornená na obrázku 1.8.[2]



Obr. 1.8: Charakteristika funkcie $P(U)$. [2]

1.6 Diaľkové riadenie a výmena dát

Všetky výrobné elektrickej energie s rezervovaným výkonom do 1MW, musia byť vybavené logickým rozhraním (vstupným portom) na vypnutie dodávky činného výkonu na výstupe.

Odpínací prvok, ktorý umožňuje diaľkové odpojenie, musí ostať funkčný aj po silovom odpojení výrobné z paralelnej prevádzky s DS a umožniť automatizáciu tohto procesu.[2, 3]

VM A2 a vyššie musia umožniť svojim logickým rozhraním nasledujúce energetické procesy diaľkového riadenia PDS.[2]

- Riadenie spínača s oddeľovacou funkciou, kde sa jedná o zapínanie a vypínanie na požiadavku od PDS. Musí fungovať automaticky.
- Obmedzenie dodávky činného výkonu do siete.
- Regulovateľnosť činného výkonu, je požadovaná od VM B1 a vyššie.
- Riadenie napätia a jalového výkonu.
- Rozhranie pre prenos dát.

Pre VM A2 v súčasnosti stačí príprava potrebného rozhrania, netreba ich ešte začleniť do systému diaľkového riadenia.[2]

1.7 Riadenie činného výkonu

podľa PPDS prílohy č.4 [2] výrobné moduly A2 a B1 aj akumuláčnité zariadenia musia byť vybavené takým rozhraním, aby na pokyny od distribútora mohli znížiť svoj činný výkon na výstupe.

Zmena dodávaného činného výkonu pre nesynchronne VM, v bode pripojenia do siete, na hodnotu požadovanú od PDS musí prebehnúť maximálne do jednej minúty, ale zariadenie musí dostať pokyny na vstup do VM aspoň do 5 sekúnd. Dovolená odchýlka skutočnej hodnoty od požadovanej je $\pm 5\%$. Tieto zariadenia musia byť technicky schopné znížiť svoju hodnotu na 0% bez toho, aby sa celá výrobná automaticky odpojila od siete. [2]

Táto zmena musí prebiehať v istých limitoch ktoré sú:

- Zvyšovanie výkonu gradientom minimálne $2\%P_n/min$ a maximálne $40\%P_n/min$
- Znižovanie výkonu gradientom minimálne $-2\%P_n/min$ a maximálne $-40\%P_n/min$

Pri obmedzení činného výkonu kvôli nadfrekvencii, sa môže činný výkon zvyšovať na svoju nominálnu hodnotu až po ustálení frekvencie na hodnote $f \leq 50,1$ Hz. Rozsah necitlivosti musí byť do 10 mHz.[2]

1.8 Riadenia jalového výkonu

Spôsob riadenia jalového výkonu sa delí na výrobné do 100 kVA (A1, A2) a výrobné od 100 kVA, B1 a vyššie.

U výrobní s inštalovaným výkonom do 100 kVA, regulácia jalového výkonu prebieha autonómne. Požiadavky na rozsahy účinníku a regulácie jalového výkonu sú uvedené v kapitole 1.4.1. Riadenie jalového výkonu môže prebiehať mimo uvedené limity a to po dohode majiteľa výrobné s PDS. [2]

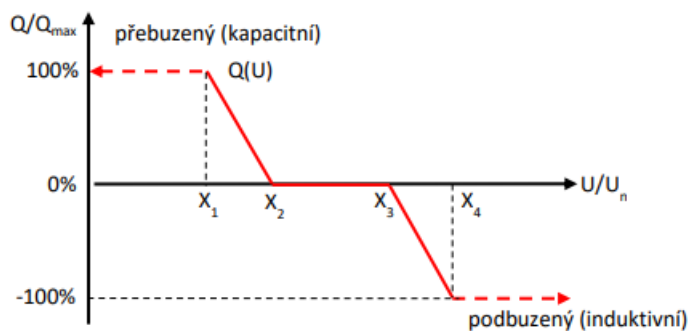
PDS nám určí žiadané hodnoty jalového výkonu a spôsob riadenia v miestne pripojenia do DS a to buď pevne zadanou hodnotou alebo diaľkovo nastaviteľnou žiadanou hodnotou. Žiadané hodnoty podľa PPDS prílohy č.4 sú:[2]

- Pevná hodnota jalového výkonu Q_{fix}
- Hodnota jalového výkonu závislá na napätí $Q(U)$
- Hodnota jalového výkonu závislá na činnom výkone $Q(P)$
- Pevná hodnota účinníku $\cos\varphi_{fix}$
- Hodnota účinníku závislá na napätí $\cos\varphi(U)$
- Hodnota účinníku závislá na činnom výkone $\cos\varphi(P)$
- Zadaná hodnota napätia U

Charakteristika zadaná PDS musí byť automaticky nastavená odpovedajúca ustálená hodnota jalového výkonu.[2]

- Pre charakteristiku $\cos\varphi = f(P)$ do 10 sekúnd.
- Pre charakteristiku $Q(U)$ medzi 10 sekundami a 1 minútou, toto určí PDS podľa miesta pripojenia

Výrobné pripájané do siete NN využívajú autonómne riadenie podľa charakteristiky závislosti jalového výkonu na napätí $Qf(U)$ ako je uvedené nižšie.[2]



Obr. 1.9: Charakteristika funkcie $Q(U)$. [2]

V charakteristike $Q(U)$ obrázok 1.9, je na ose X pomerná hodnota napätia v mieste pripojenia k menovitej (požadovanej) hodnote, osa Y odpovedá k pomernej dodávaného/odoberaného jalového výkonu k maximálnej hodnote jalového výkonu, ktoré je schopná dodať/odobrať.

Nesynchronné výrobné moduly musia po skokovej zmene napätia dosiahnuť 90% zmeny jalového výkonu v čase t_1 ktorú určí PDS, v medziach od 1 do 5 sekúnd, a musí sa ustáliť do doby t_2 ktorá je tiež určená PDS v medziach od 5 do 60 sekúnd s dovolenou odchýlkou 5% z maximálneho jalového výkonu.

1.9 Automatické opätovné pripojenie

Automatické pripojenie je prípustné, pokiaľ príslušný prevádzkovateľ sústavy v koordinácii s príslušným PPS nestanoví inak. [3]

Zdroje do 800 W a výrobné moduly A1, A2, B1, B2 a C ktoré sú odpojené od siete z dôvodu odchýlky napätia alebo frekvencie sa môžu automaticky pripojiť späť do siete za týchto podmienok ktoré nám určuje PPDS príloha č.4. [2]

- Napätie je v medziach od 85% do 110% menovitého napätia.
- Frekvencia v medziach od 47,5 Hz do 50,05 Hz.
- Maximálny gradient stúpajúceho činného výkonu od nulového výkonu do siete môže byť 10% P_n za minútú

Ak výrobná nedokáže splniť maximálny gradient uvedený vyššie, tak výrobná sa pripojí späť do siete po dobe, ktorú určí PDS v medziach od 0 do 20 minút, musí ale stále dodržať prvé dva body. [2]

Synchronizácia so sieťou musí byť plne automatizovaná. Po pripojení výrobné späť do siete musí výrobná spĺňať výkonové obmedzenia z dôvodu riadenia činného výkonu podľa kapitoly 1.5.[2]

1.10 Spätné vplyvy na sieť

Aby nedochádzalo k rušeniu zariadení ďalších odberateľov a prevádzkovaných zariadení PDS, je nutné obmedziť spätné vplyvy výrobné elektrickej energie. Na posúdenie je potrebné vychádzať zo zásad hodnotenia spätných vplyvov a ich prípustných hraníc, ktoré výrobňa musí splať. Jedná sa o: [2]

- Zmenu napätia v mieste pripojenia
 - Pre spoločný napájací bod v sieti NN - $\leq 3\%U_n$
 - Pre spoločný napájací bod v sieti VN a 110kV - $\leq 2\%U_n$
- Dlhodobý flickr - Jedna alebo viacero výrobní v jednom pripájacom bode musia s ohľadom na kolísanie napätia spôsobujúci flickr dodržať v spoločnom napájacom bode nasledujúce hodnoty
 - NN a VN maximálnu hodnotu - $P_{lt} \leq 0,46$
 - 110kV - $P_{lt} \leq 0,37$
- Prúdy vyšších harmonických - Jedná sa hlavne o výrobné so striedačmi. Prípustný vzťažný prúd harmonických zdrojov závisí od siete pripojenia.
- Ovplyvnenie zariadení HDO - Viac v PPDS príloha č. 4

Všetky tieto hodnoty vychádzajú z normy ČSN EN 50160 (33 0122) a ďalšie prípustné medze sú uvedené v dokumente PPDS príloha č.4 str. 60 [2]

1.11 Meracie, riadiace a spínacie zariadenia

Meracie a riadiace zariadenia

Meracie zariadenia (elektromery) a zariadenia na prepínanie tarifu (prepínač tarifu) sa riadia podľa podmienok pre odber/dodavky elektrickej energie PDS, preto musíme ich umiestenie, počet a druh vyriešiť v štádiu projektu.[2]

Meranie je rôzne pre napätové hladiny kde sa výrobňa pripája.[2]

- NN - podľa výkonu výrobné buď priame (do 80A) alebo polopriame
- VN - Polopriame do výkonu transformátora 630kVA s meraním na strane NN. Nepriame od výkonu 630kVA s meraním na strane VN.
- 110kV - Nepriame meranie na strane 110 kV.

Spínacie zariadenia

Pre spojenie výrobné elektrickej energie a akumulačného zariadenia s DS musí byť použitý väzobný spínač. Jedná sa o spínacie zariadenie, ktoré musí dokázať vypínať záťaž (vypínač, odpínač s poistkou atď.), k tomuto zariadeniu je následne priradená aj skratová ochrana. Väzobný spínač môžeme zapojiť na strane NN, ale tiež aj na strane VN a 110kV.

Spínacie zariadenie takisto musí zaručiť galvanické oddelenie všetkých fáz. V prípade výrobní elektrickej energie využívajúcich striedače, je potrebné spínač zapojiť na striedavej strane. Nesmie byť vyradený z činnosti pri skrate v striedači, ak sú spoločne umiestnené v jednej skrini so striedačom.[2]

1.12 Ochrany

Nastavenie ochrán rozpadového miesta nám určuje nasledujúca tabuľka z PPDS prílohy č.4, ktorá nám odporúča nastavenia stupňov ochrán pre výrobné s fázovým prúdom nad 16 A v sieťach NN a výrobné pripojené do siete VN a 110 kV (VM A2, B1, B2, C). Tieto hodnoty nastavenia sú prebraté z noriem ČSN EN 50549-1 a ČSN EN 50549-2 a nasledovne len doplnené o doporučené nastavenia ochrán. [2]

Tab. 1.4: Ochrany rozpadového miesta pre VM A2, B1, B2 a C. [2]

Funkcia	Rozsah nastavenia	Doporučené nastavenie ochrán	
Nadpätie 3. stupeň $U \gg$	1,00 - 1,30 U_n	1,25 U_n	0,1s
Nadpätie 2. stupeň $U \gg$	1,00 - 1,30 U_n	1,2 U_n	5s
Nadpätie 1. stupeň $U >$	1,00 - 1,30 U_n	1,15 U_n	$\leq 60s$
Podnapätie 1. stupeň $U <$	0,10 - 1,00 U_n	0,7 U_n	0 - 2,7s
Podnapätie 2. stupeň $U \ll$	0,10 - 1,00 U_n	0,3 U_n (0,45 U_n)	$\geq 0,15s$
Nadfrekvencia $f >$	50 - 52 Hz	51,5 Hz	$\leq 100ms$
Podfrekvencia $f <$	47,5 - 50 Hz	47,5 Hz	$\leq 100ms$
Smer jalového výkonu a podnapätia ($Q \rightarrow$ & $U <$)	0,70 - 1,00 U_n	0,85 U_n	$t_1 = 0,5s$

Vypínacie časy pre nadpätie a podpätie je potrebné koordinovať s parametrami FRT kriviek častí 1.4.2 a 1.4.2

Nastavenie podfrekvencie závisí na výkone výrobné a frekvenčnej závislosti na výkone. Smer jalového výkonu a podnapätia sa použije u výrobné s inštalovaným výkonom nad 30 kVA, pokiaľ PDS nenastaví inak. [2]

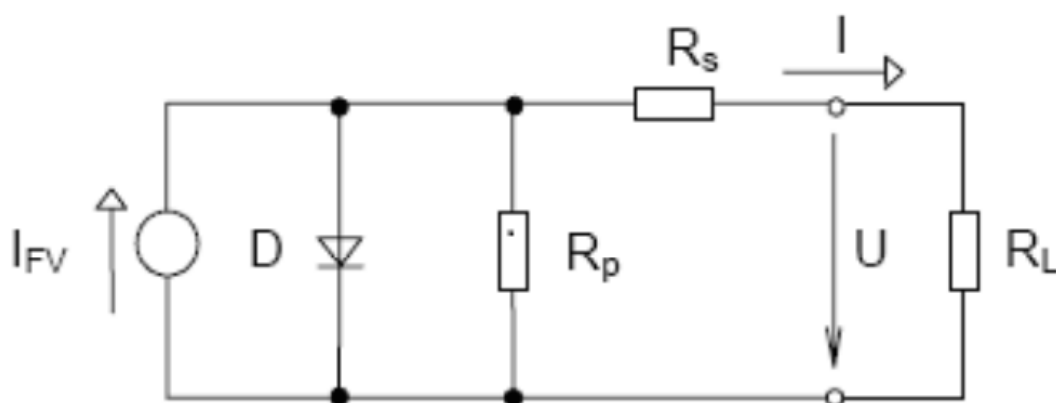
2 Fotovoltaické systémy rozdelenie a ich komponenty

FV systémy sú zariadeniami na výrobu el. energie pomocou FV modulov, často nazývané FV panely. Pri veľkoplošných fotovoltaických systémoch je niekoľko fotovoltaických panelov zapojených do série a tvoria "string", v stringu sa napätia FV panelov sčítavajú ale prúd sa pri istých svetelných podmienkach nemení. Tieto reťazce sa potom spájajú paralelne a vytvárajú "pole". Spájaním stringov do pola sa nám prúdy sčítajú, ale napätie sa nemení. Tieto systémy zahŕňajú isté komponenty, záleží na druhu systému, ale zjednodušene môžeme povedať že sa jedná o FV panely ktoré absorbujú slnečné svetlo a prevádzajú ho na elektrickú energiu prostredníctvom fotovoltaického javu.[7]

V tejto kapitole rozpišeme rôzne druhy FV systémov, ich delenie, komponenty a zapojenia do siete.

2.1 Fotovoltaické panely

Fotovoltaické panely sa skladajú z niekoľkých fotovoltaických článkov, ktoré sú tiež zapojené v sériovej a paralelnej konfigurácii. Tieto FV články produkujú jednosmerný prúd a jednosmerné napätie pri dopade svetla v dôsledku FV efektu na polovodič. Z náhradnej schémy FV článku na obrázku č.2.1 vyplíva že FV článok sa chová ako fotodióda.[7, 8]



Obr. 2.1: Náhradná schéma FV článku[8]

Najčastejším materiálom na výrobu FV článku je kremík, z dôvodu veľmi vysokej účinnosti generácie voľných nosičov kvôli dopadajúcemu slnečnému žiareniu.[7]

2.1.1 Typy fotovoltaických článkov

V dnešnej dobe máme na trhu na výber 3 druhy FV článkov. Cenovo sa moc nelíšia, ale zato sa líšia v účinnosti na základe druhu dopadajúceho žiarenia. Druhy dopadajúceho žiarenia sú dva a to:[9]

- Priame dopadajúce žiarenie
- Difúzne dopadajúce žiarenie - rozptýlené svetlo po odraze od molekúl, prachu atď.

Monokryštalické FV články

Tieto články majú najvyššiu účinnosť zo všetkých troch a to okolo 18 až 22 %, avšak najvyššiu účinnosť dosahujú pri priamom dopadajúcom žiarení. Čiže tieto články sú ideálne na miesta s výbornou orientáciou a uhlom.

Pri menšom poklese intenzity žiarenia ich výkon rapídne klesá a teda najvyššiu energetickú výnosnosť môžeme očakávať v letných mesiacoch.[9]

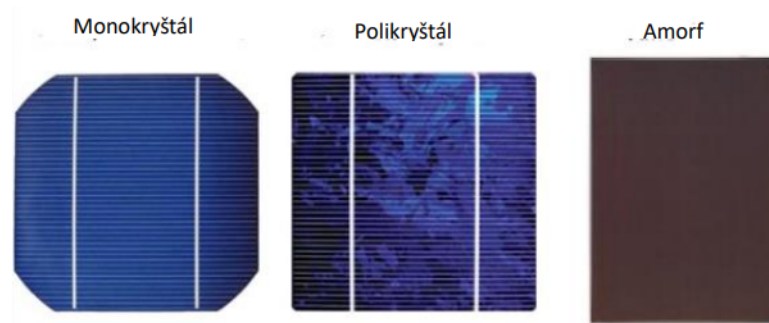
Polykryštalické FV články

Tieto články narozdiel od monokryštalických nedosahujú takej vysokej účinnosti, dosahujú účinnosť okolo 16 až 19 %, avšak dokážu využívať priame žiarenie a aj difúzne žiarenie viac, ako monokryštalické FV články. Čiže tieto články sú ideálne na miesta s nie tak dobrou orientáciou.

Tieto články nedosiahnu takej energetickej výnosnosti v letných mesiacoch ako monokryštalické, ale zato môžu dosiahnuť väčšiu celoročnú výnosnosť, vďaka dobrej účinnosti aj pri zhoršenej intenzite žiarenia.[9]

Amorfne FV články

Tieto články majú najmenšiu účinnosť spomedzi všetkých iba 8 až 11 %, avšak vďaka využívaniu hlavne difúzneho žiarenia na generáciu, čo znamená že nie sú priveľmi citlivé na uhol a orientáciu ako predošlé dve. Ďalšie ich výhody sú, že sú tenké a lacnejšie a najmä nemajú takú tepelnú závislosť ako kryštalické.[9]



Obr. 2.2: Ukážka monokryštalického, polykryštalického a amorfné FV článku[4]

2.1.2 Parametre fotovoltaického článku

Charakteristika závislosti prúdu od napätia ($A - V$) fotovoltaického článku je zobrazená nižšie na obrázku č.2.3, a tým aj fotovoltaického panelu, môžeme pozorovať, že táto charakteristika nie je lineárna, ale veľmi závislá od slnečného žiarenia podľa spektra, na ktorom daný FV článok dokáže pracovať. Výsledkom je, že pre určité množstvo slnečného žiarenia existuje špičkový bod výkonu zodpovedajúci napätiu a prúdu, pri ktorom môže FV panel dodávať maximálne množstvo výkonu pre danú úroveň žiarenia.

FV panely, hlavne kryštalické, sú veľmi závislé na teplo a preto aj $A-V$ charakteristika sa mení zmenou teploty FV panelu, ako je ukázané na obrázku č.2.15, pretože rastúcou teplotou sa nám znižuje odpor R_p a zvyšuje odpor R_s z náhradnej schémy na obrázku č.2.1. [7, 8]

Činiteľ plnenie FF (Fill Factor) - Skratový prúd a napätie naprázdno, sú maximálny prúd a napätie solárneho článku. V oboch týchto pracovných bodoch je však výkon solárneho článku nulový. Činiteľ plnenia je parameter, ktorý je definovaný ako pomer maximálneho výkonu solárneho článku v bode MPP k súčinu U_{oc} a I_{sc} . Služí ako miera kvality FV článku.[10]

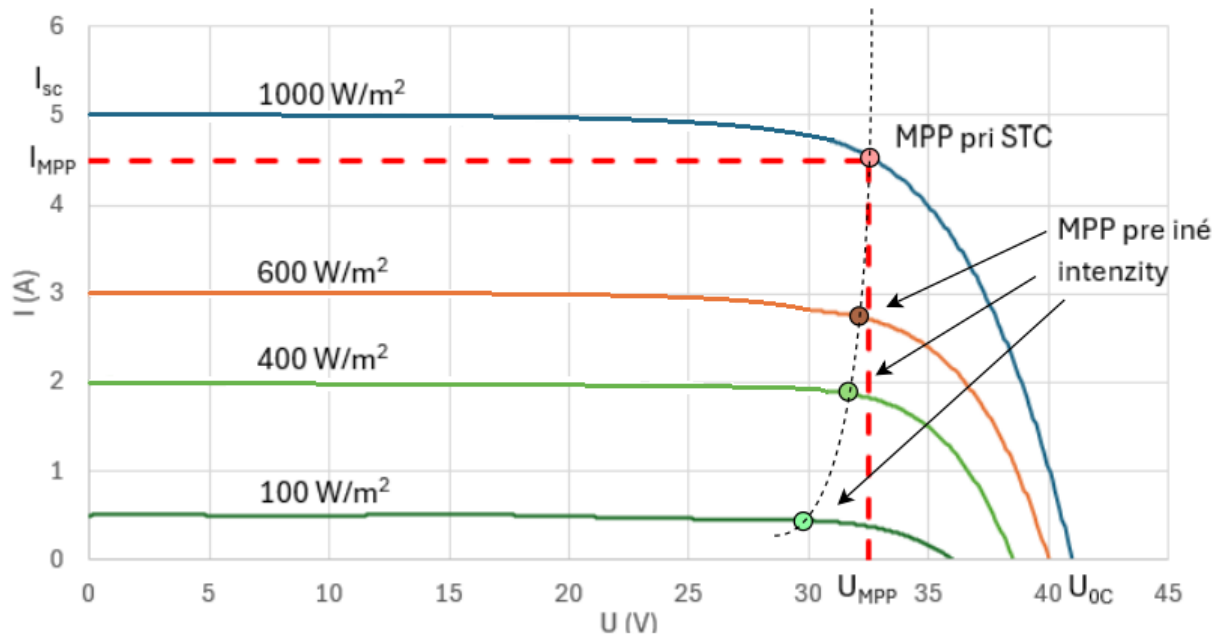
$$FF = \frac{U_{mpp} * I_{mpp}}{U_{oc} * I_{sc}} \quad (2.1)$$

Účinnosť FV článku μ - Účinnosť FV článku je definovaná ako pomer výstupnej energie z FV článku k vstupnej energii z dopadajúceho slnečného žiarenia.[11]

$$\mu = \frac{P_{mpp}}{P_{in}} = \frac{U_{oc} * I_{sc} * FF}{E * S} \quad (2.2)$$

Porovnaním parametrov jednotlivých FV panelov medzi sebou je potrebné definovať jednotné podmienky, za ktorých sa tieto parametre určujú. Podľa normy EN 60904, sú definované tzv. štandardné skúšobné podmienky (STC).[12]

- Intenzita kolmého slnečného žiarenia $E = 1000\text{W}/\text{m}^2$
- Teplota fotovoltaického článku $T = 25^\circ\text{C}$ (tolerancia $\pm 2\%$)
- Definované spektrum svetla pri hmotnosti vzduchu $AM = 1,5$



Obr. 2.3: A-V charakteristika pre rôzne intenzity žiarenia[8]

Medzi dôležité veličiny, kde niektoré sú uvedené aj v grafe na obrázku vyššie sú:[8]

- Napätie naprázdno U_{oc} - Napätie na rozpojených koncoch FV článku
- Prúd nakrátko I_{sc} - maximálny (skratový) prúd, ktorý dokáže FV článok dodať pri danej intenzite slnečného žiarenia.
- Bod maximálneho výkonu MPP - Jedná sa o bod na I-V charakteristiky, kde FV článok dodáva maximálny výkon $P_{MPP}(W)$ ktorý je určený nasledujúcim vzťahom, kde $U_{MPP}(V)$ je napätie pri maximálnom výkone a $I_{MPP}(V)$ je prúd pri maximálnom výkone.

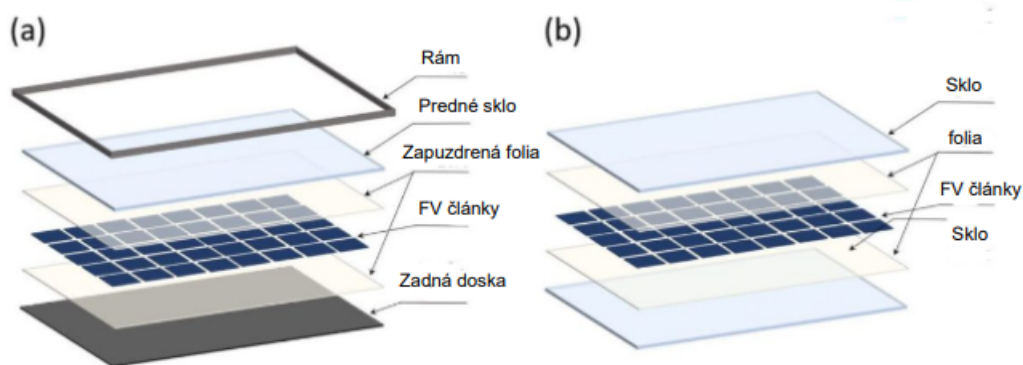
$$P_{MPP} = U_{MPP} * I_{MPP} \quad (2.3)$$

- Účinnosť FV panelu – je podiel medzi elektrickým výkonom z jednotky plochy FV panelu a intenzitou slnečného žiarenia
- Teplotný koeficient výkonu – udáva, o koľko sa výkon panelu zmení pri zvýšení teploty o 1°C

2.1.3 Skladba FV modulu

FV panel sa väčšinou skladá z 36, 60 alebo 72 FV článkov. Zaleží hlavne od výrobcu a od technológie výroby. V dnešnej dobe sa do popredia dostáva technológia Half-cut panelov, ktorá je vysvetlená nižšie.

FV panel musí byť odolný voči námraze, krúpom i zlým poveternostným podmienkam. Najbežnejšia konštrukcia FV panelu s tenkou sklenenou vrstvou sa skladá z predného skla, zapúzdrovacej fólie, ako môžeme vidieť na obrázku a) č.2.4 nižšie. Za zmienku ale stojí technologické prevedenie sklo-sklo, ktorá je na obrázku b) č.2.4, ktorá je narozdiel od fólie nehorľavá, odolnejšia, no zato aj drahšia. Väčšinou obojstranné (Bifaciálne články) FV panely sú vyrobené technológiou sklo-sklo, ale nie je to nezbytné tak aj pri bežných konvenčných panelov nájdeme toto prevedenie.[13, 14]



Obr. 2.4: Porovnanie skladby FV panelov sklo-fólia a sklo-sklo[13]

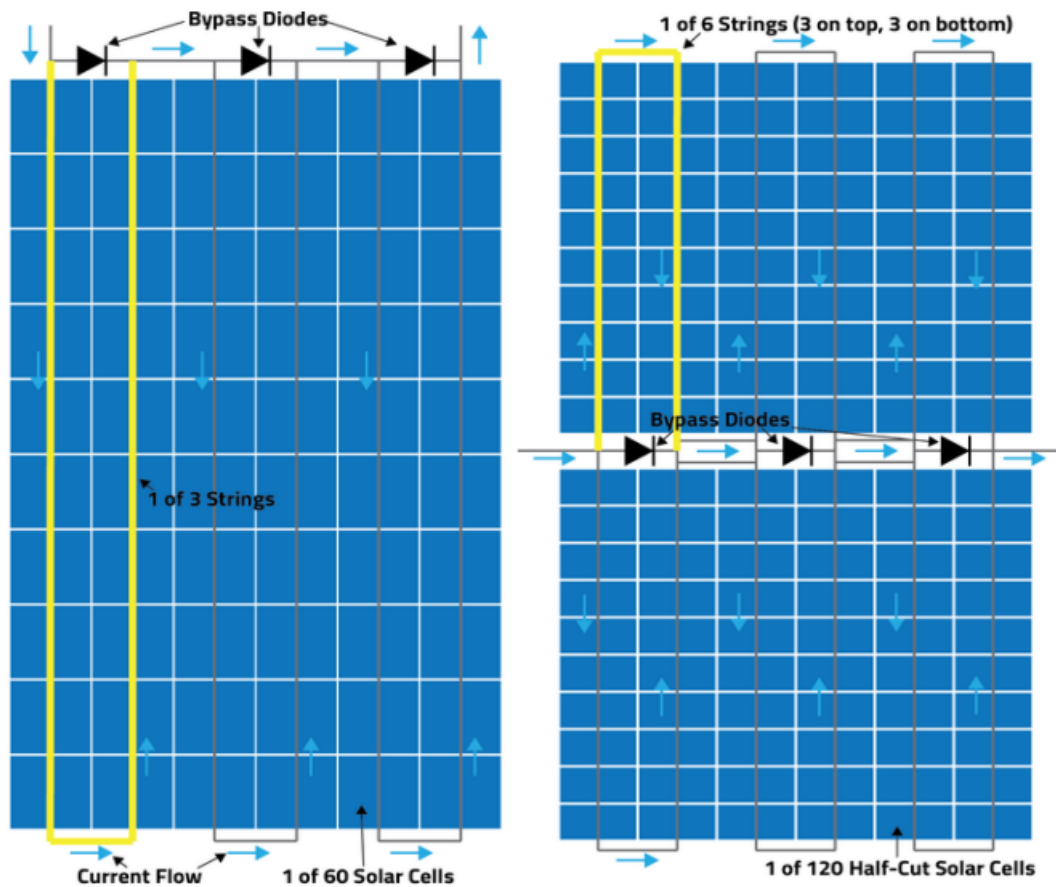
By-pass dioda

Každý FV článok by mal v uzavretom el. obvode vyrábať rovnaké množstvo el.prúdu. Pokiaľ má však nejaký článok výrobnú vadu alebo je zatienený, môže dochádzať k výraznému zníženiu výkonu, pretože postihnuté časti nepridávajú k produkovanému prúdu. Pokiaľ má 1 string nižší prúd než ostatné, tak Bypass diódy umožňujú prúdu obísť tieto postihnuté časti panelu, čím sa minimalizuje vplyv tieňov na celkový výkon solárneho systému.[14]

Half-cut

Half-cut technológia obsahuje 120 alebo 144 FV článkov oproti štandardným 60 či 72. Je tomu tak preto, lebo táto technológia využíva polovičnú veľkosť článkov, ktoré sú zapojené do dvoch paralelných vetví ako môžeme vidieť na obrázku č.2.5. [14]

Výhoda tejto technológie je, že má polovičnú plochu FV článku, vďaka čomu sa dajú obmedziť kryštalické poruchy. Taktiež polovičná veľkosť produkuje polovičný prúd a to umožňuje znížiť odporové straty na štvrtinu a zvýšiť účinnosť. Zároveň môžeme vidieť istý počet Bypass diódy, ale tu máme výhodu, že pokiaľ bude zatienená iba jedna polka modulu, tak druhá nebude obmedzovaná.[14]



Obr. 2.5: Porovnanie technológie Half-cut so štandardnou[14]

2.1.4 Vplyv orientácie a uhlu

Ak by sme chceli využiť slnečné žiarenie čo najefektívnejšie, tak ideálna by bola možnosť, pri ktorej by FV panel dokázal nasledovať polohu slnka tak, aby vždy svetlo dopadalo naňho kolmo. To sa dá doceliť inštaláciou takzvaných "trackrov". Nanešťastie sa v tomto prípade jedná o drahú investíciu a pri inštaláciách na šikmých strechách aj o nereálnu možnosť. Preto sa v ČR stretávame so stacionárnymi FVE s pevnou orientáciou a sklonom.[15]

Fotovoltaické panely v Českej republike dosahujú najlepšiu výkonnosť pri orientácii na juh, juhovýchod a juhozápad, pričom juhozápadná orientácia je mierne výhodnejšia. To je spôsobené tým, že v ranných hodinách býva viac oblačnosti, čo znižuje intenzitu dopadajúceho žiarenia, ako je vidieť v tabuľke č.2.1.

Existujú však aj inštalácie orientované na západ a východ, najmä pri rovných strechách. Tieto panely sú často usporiadané chrbtami k sebe, čo vytvára "striešky". Tento systém má niekoľko výhod: vyrovnanjšia produkčná krivka počas dňa, nižšia špička produkcie na obed a lepšie využitie plochy, pretože panely si navzájom tak moc netienia, čo umožňuje menšie medzery medzi nimi.[16]

Nasledujúca tabuľka vychádza z meraní na FSV ČVUT v Prahe ktorý merali 3 rôzne modely FV panelov a porovnávali dopadajúce žiarenia na základe ich orientácie a sklonu. Nám bude postačovať iba jedna tabuľka modelu PVGIS, pretože všetky tri majú takmer podobné hodnoty. [15]

Tab. 2.1: Pomer dopadajúceho žiarenia pre rôzny sklon a orientáciu panelov[15]

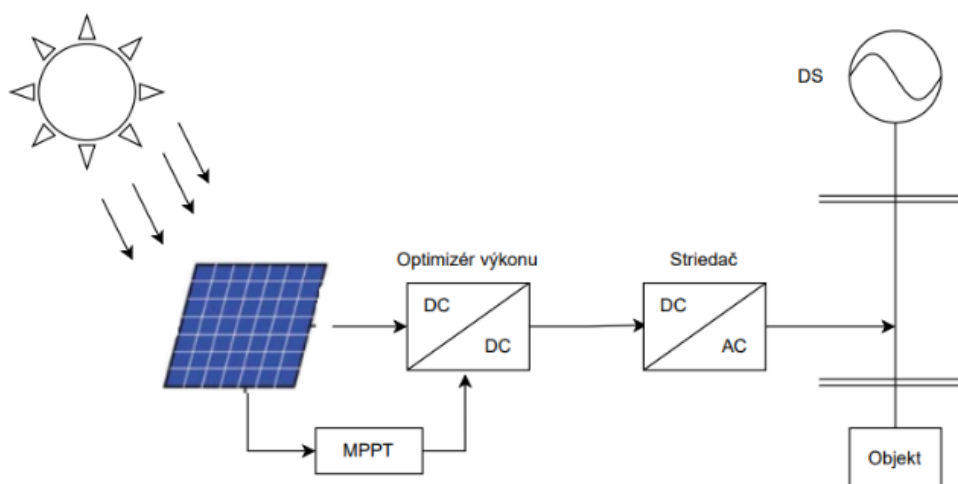
PVGIS	Orientácia	Sklon					
		0°	20°	35°	45°	60°	90°
Z	90°	88,8%	86,2%	82,9%	79,2%	71,7%	51,0%
ZJZ	67,5°	88,8%	91,4%	89,7%	87,1%	80,4%	56,7%
JZ	45°	88,8%	95,7%	94,8%	93,1%	87,1%	63,9%
JJZ	22,5°	88,8%	97,4%	98,3%	97,4%	91,4%	67,1%
J	0°	88,8%	97,4%	100,0%	98,3%	92,2%	67,9%
JJV	-22,5°	88,8%	97,4%	98,3%	97,4%	91,4%	66,9%
JV	-45°	88,8%	95,7%	94,8%	93,1%	87,1%	63,8%
VJV	-67,5°	88,8%	91,4%	89,7%	87,1%	80,3%	58,4%
V	-90°	88,8%	86,2%	82,9%	79,2%	71,7%	50,9%

2.2 Typy fotovoltaických systémov

V súčasnej dobe môžeme rozdeliť FV systémy na 3 druhy na základe spolupráce s distribučnou sieťou, a to na on-grid (pracujú len do siete), off-grid (pracujú bez siete takzvaný ostrovný režim) a hybrid (dokáže pracovať so sieťou ale aj bez nej).

2.2.1 On-grid systém

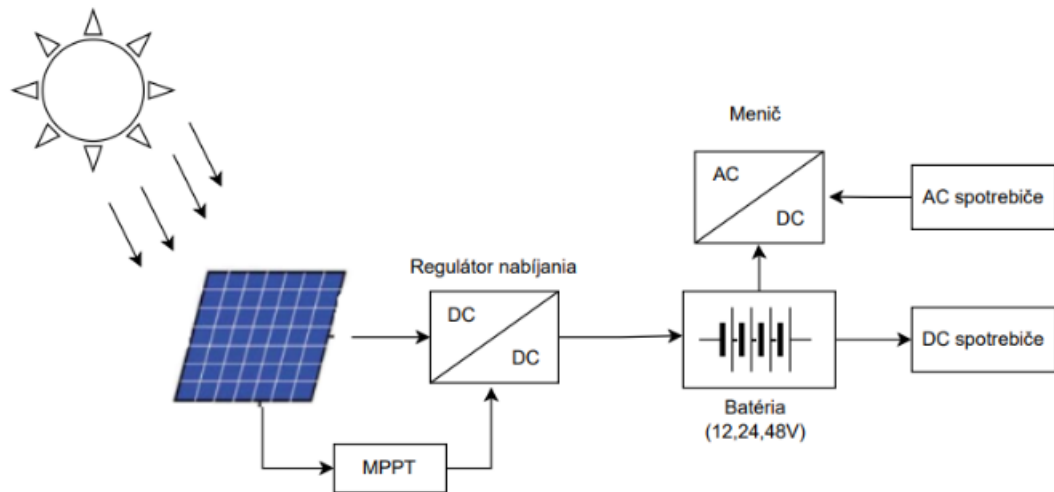
Jedná sa o systémy, ktoré sú priamo pripojené na DS. Tieto systémy neobsahujú akumulátory a ich obstarávacie náklady sú menšie a taktiež nevyžadujú toľko údržby. Tieto systémy sa dajú využiť dvojako, a to buď na čistú dodávku el. energie do DS (veľké FVE) alebo pre vlastnú spotrebu rodinného, priemyselného objektu a v prípade prebytku dodávať do siete. Typické zapojenie pre vlastnú spotrebu je vidieť na obrázku č.2.6.[17]



Obr. 2.6: On-grid systému

2.2.2 Off-grid systém

Jedná sa o systém takzvaný ostrovný, pretože tento systém nie je napojený na distribučnú sieť. To znamená, že všetka vyrobená energia je spotrebovaná v miestnej výrobe. V tomto systéme je veľmi dôležitá akumulácia energie do batérii a to funguje nasledovne: vyrobená energia putuje cez regulátor dobíjania a sledovania maximálneho bodu výkonu (MPPT), následne sa energia uskladňuje do akumulátora, odkiaľ je potom odvádzaná aj počas dní keď nevyrábame, ak je dostatočne nabitá. Energiu dodávame DC spotrebičom a v prípade keď pridáme menič tak aj do AC spotrebičov ako je ukázané na obrázku č.2.7. [18]



Obr. 2.7: Off-grid systému

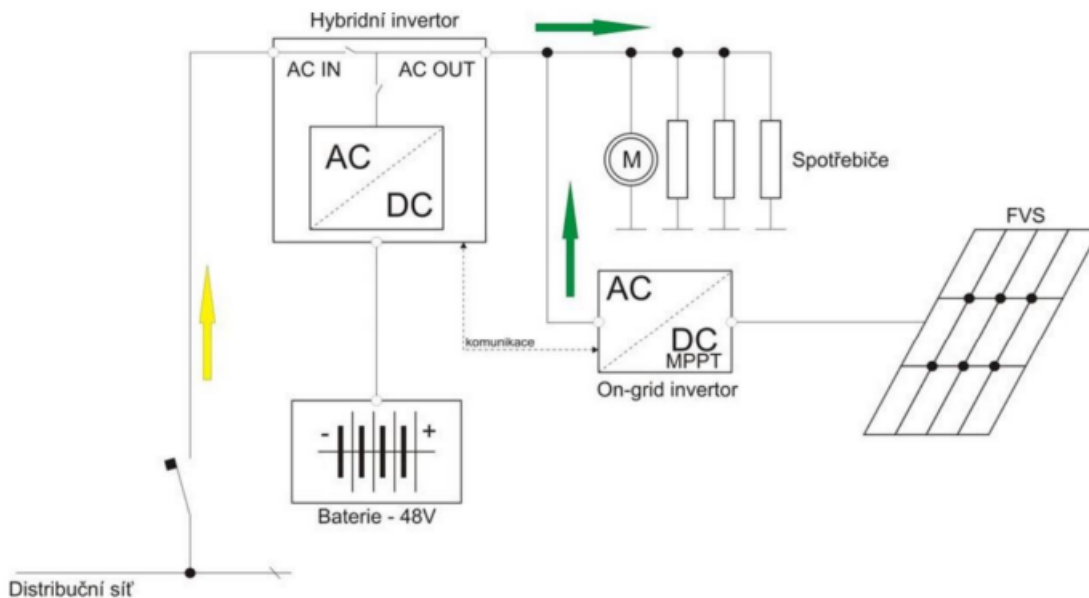
2.2.3 Hybridný systém

Jedná sa o systémy, ktoré dokážu pracovať v on/off režime. Najviac sa podobajú na off-grid systém s akumulátormi. Tento systém využíva takzvaný hybridný menič, ktorý dokáže prepínať medzi on-grid a off-grid režimom. Toto prevedenie zvyšuje využiteľnosť FVE bez zbytočných pretokov do siete.[4]

Poznáme 2 druhy zapojenia hybridného systému a to AC coupling (spoločna AC väzba) a DC coupling (spoločna DC väzba).

Hybridný systém so spoločnou AC väzbou

FV panely vyrábajú jednosmerný prúd, ktorý sa prenáša do sieťového striedača a ten je napojený na striedavú sieť na napájanie spotrebičov. Akákoľvek elektrická energia, ktorá smeruje do batérie, sa musí pomocou ďalšieho striedača tentokrát hybridného premeniť späť na jednosmerný prúd, no pri vybíjaní batérie sa opäť prevedie na striedavý prúd, ktorý slúži na napájanie spotrebičov. Sú výhodnejšie pre okamžitú spotrebu. Schéma hybridného systému so spoločnou AC väzbou je ukázaná na obrázku č.???. [19, 20]



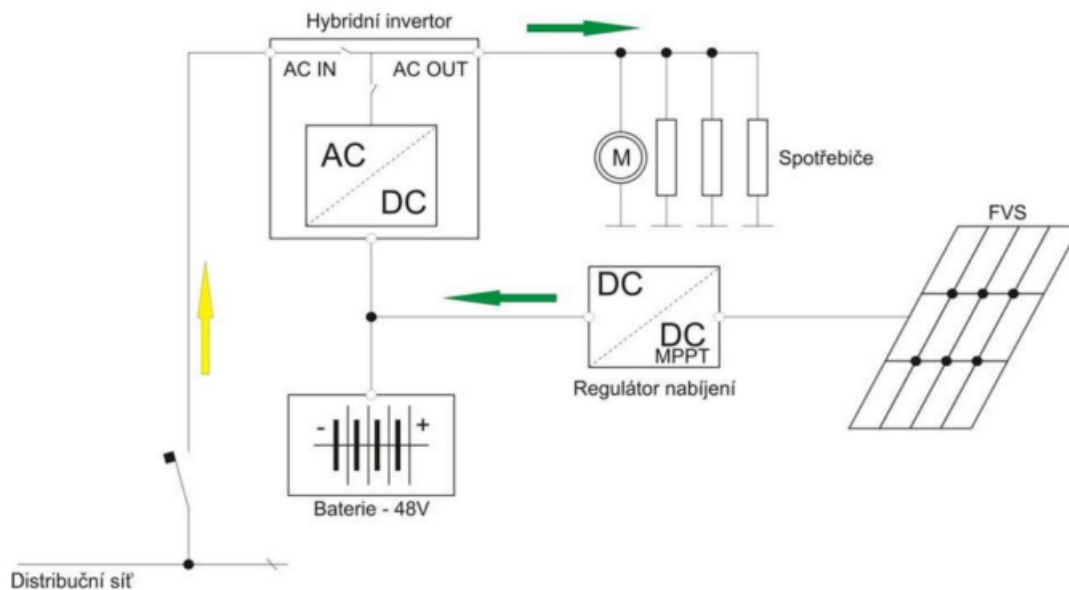
Obr. 2.8: Hybridný systém so spoločnou AC väzbou [20]

Výhodou tohto systému je to, že výroba a spotreba elekt. energie z FV panelov a nabíjanie/vybíjanie batérie sú 2 oddelené systémy. Ďalšia veľká výhoda je, že pri výpadku DS je tu možnosť napájať spotrebiče v ostrovnom režime, ale to závisí od zapojenia akumuláčného systému vysvetleného v kapitole č.2.2.4. Nevýhodou je, že prietoky budú vždy do siete a taktiež cena, lebo treba dvoch AC/DC striedačov. [21]

Hybridný systém so spoločnou DC väzbou

V systéme s DC väzbou môže byť jednosmerný prúd zo FV panelov vedený priamo do batériového systému cez napäťový regulátor bez toho, aby musel prechádzať cez striedač. Energia pre spotrebiče sa premieňa v hybridnom striedači, ale tento striedač je jediný potrebný. Vďaka tomu sú systémy so spojením na DC väzbu jednoduchšie, lacnejšie a vo všeobecnosti účinnejšie ako systémy so spojením na AC väzbu. Sú výhodnejšie pre akumuláciu energie a následne jej využitie v dobe kedy FVE nevyrába. Schéma hybridného systému so spoločnou DC väzbou je ukázaná na obrázku č.2.9.[19, 20]

Výhodou je len jeden striedač, a taktiež schopnosť plne sa galvanicky oddeliť od DS (pri použití galvanického striedača). Nevýhoda je, že majú menšiu účinnosť pri napájaní AC spotrebičov. Taktiež je výrobná schopná ostrovnej prevádzky, ale záleží na zapojení akumuláčného systému vysvetleného v kapitole nižšie č.2.2.4. [21]



Obr. 2.9: Hybridný systém s spoločnou DC väzbou [20]

2.2.4 Zapojenie akumuláčného systému

Batériový systém si môžeme do objektu zapojiť 3 spôsobmi, a to sériovo, paralelne alebo ich kombináciou, sériovo-paralelne. Pri sériovom zapojení sa systém inštaluje medzi distribučnú sieť a inštaláciu. Pri paralelnom zapojení sa systém pripojí na ľubovoľnom mieste v inštalácii s dobrým dimenzovaním vedenia.[21]

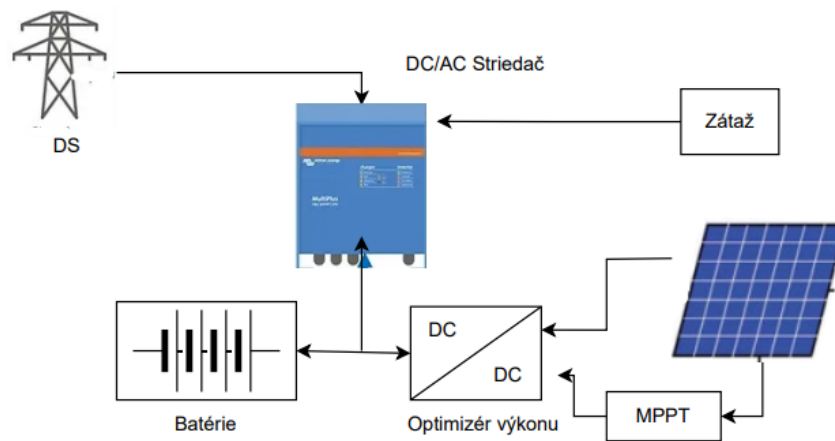
Sériovo

Pri sériovom zapojení sa medzi hlavný prívod do objektu a rozvádzač vloží striedač podľa zapojenia na obrázku č.2.10. Výhodou tohto systému je to, že objekt vie fungovať na čisto ostrovnom režime pri výpadku DS. Nevýhodou je to, že hlavný prívod musí ísť najskôr cez striedač, čo je technicky náročnejšie pri hotových inštaláciách a pri poruche striedača je celý objekt bez energie. [21]

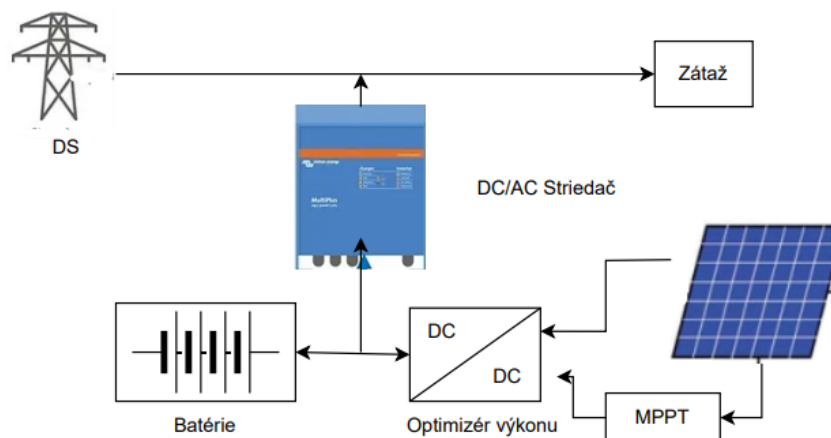
Paralelne

V tejto architektúre je striedač pripojený do inštalácie paralelne, ako je vidieť na obrázku č.2.11. Stačí ak je na danom mieste dostatočné dimenzované káblové vedenie. Pri tejto architektúre je nutné inštalovať doplnkový elektromer do rozvádzača, ktorý poskytuje systému informáciu o spotrebe v dome. Systém vie potom reagovať na spotrebu nabíjaním/vybíjaním batérii, prípadne úpravou výkonu zdroja. Výhodami sú hlavne jednoduchá inštalácia a pri poruche striedača je stále objekt pokrytý

z DS. Nevýhodami sú hlavne že nevie fungovať v ostrovnej prevádzke, pretože strie-
dač nesmie nikdy dodávať el.energiu do siete keď je "vypnutá" alebo vo výpadku, lebo
by mohlo dojsť k úrazu el. prúdov na vedení pri opravách atď. batériové úložisko je
hlavne na ukladanie a využívanie prebytkov zo zdroja. [21]



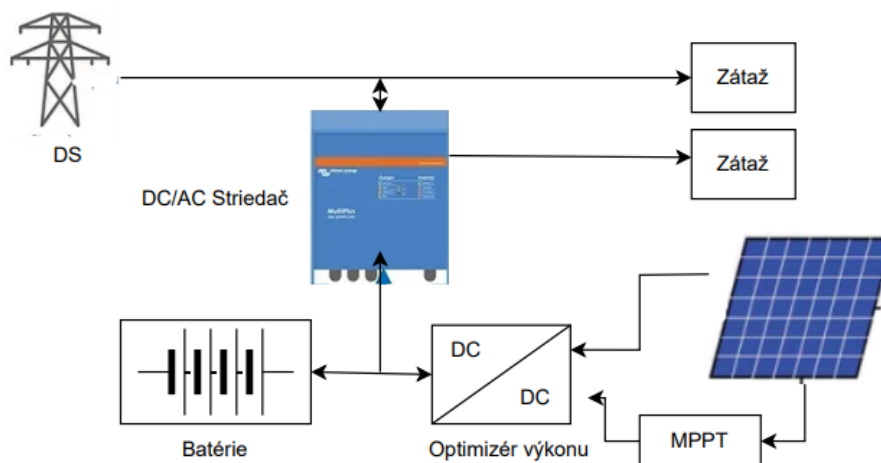
Obr. 2.10: Ukážka sériovo zapojeného akumuláčného systému



Obr. 2.11: Ukážka paralelného zapojeného akumuláčného systému

Sériovo-Paralelne

Jedná sa o kombináciu, ktorá je ukázaná na obrázku č.2.12, táto kombinácia nám
zaručí, že časť objektu bude kvázi zálohovaná a pri výpadku siete bude môcť fungovať
v ostrovnom režime. Nevýhoda je, že zálohovaný okruh musí byť ťahaný zvlášť, čo
už pri stavajúcich inštaláciách môže byť problém. [21]



Obr. 2.12: Ukážka sériovo-paralelného zapojeného akumuláčného systému

2.3 Inventori a komponenty

V tejto sekcii sa budeme zaoberať inventormi (striedačmi), pretože striedače sú aj napríklad DC/DC v off-grid systémoch, ktoré však v úvahu brať nebudeme. V tejto sekcii preberieme hybridné 3 fázové DC/AC striedače, ich rozdelenie podľa symetrie, galvanického oddelenia, počtu MPP trackrov atď..

2.3.1 Hybridné inventori

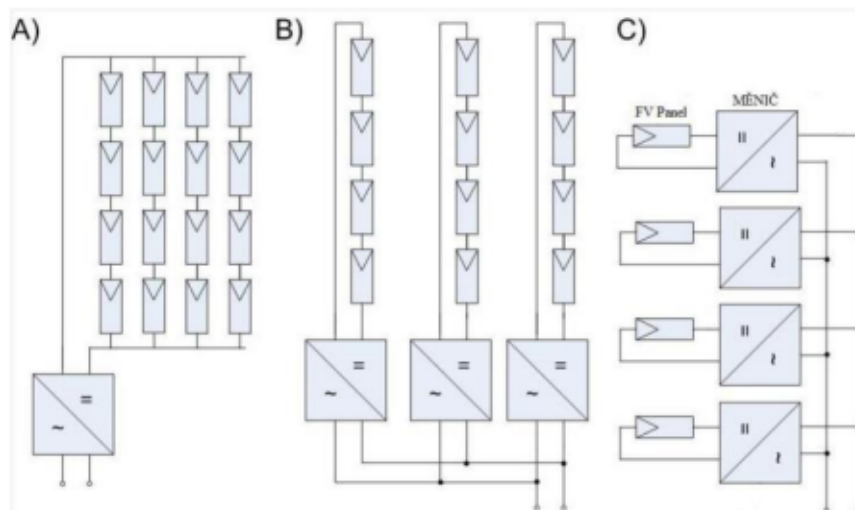
Hybridné inventori slúžia hlavne na premenu jednosmerného prúdu na prúd striedavý s frekvenciou a napätím odpovedajúce DS. Tieto striedače sa zapojujú v systéme s AC väzbou alebo DC väzbou, viac v kapitole č.2.2.3. Ich hlavná vlastnosť teda je funkcia pracovať v on-grid, ale aj v off-grid režime a prepínať medzi nimi. Okrem premeny el.energie taktiež majú ďalšie doplnkové vlastnosti, a to napríklad sledovanie bodu maximálneho výkonu (MPPT), monitoring, signalizácie, ochranné a regulačné podmienky podľa požiadaviek na paralelné riadenie so sieťou podľa PPDS p.č.4 [2], možnosť asymetrie fáz atď..

Spôsoby zapojenia inventorov

Poznáme 3 spôsoby zapojenia FV modulov a inventorov a to sú[20]:

- Centrálné (obrázok A)
- Reťazové (obrázok B)
- Modulové (obrázok C)

Centrálny spôsob je najjednoduchší a najlacnejší, lebo je použitých menej striedačov. FV moduly sa zapájajú do stringov a následne stringy paralelne k striedaču.



Obr. 2.13: Spôsoby zapojenia inverterov v FV systéme[20]

Nevýhoda spočíva v regulovateľnosti MPP kvôli tomu, že prebieha pre všetky moduly naraz.

Reťazový spôsob je drahší. Jeho výhoda je lepšia regulovateľnosť MPP kvôli tomu, že každý string má svoj vlastný striedač. Používa sa vo FV výrobniciach niekoľko desiatkov kW.

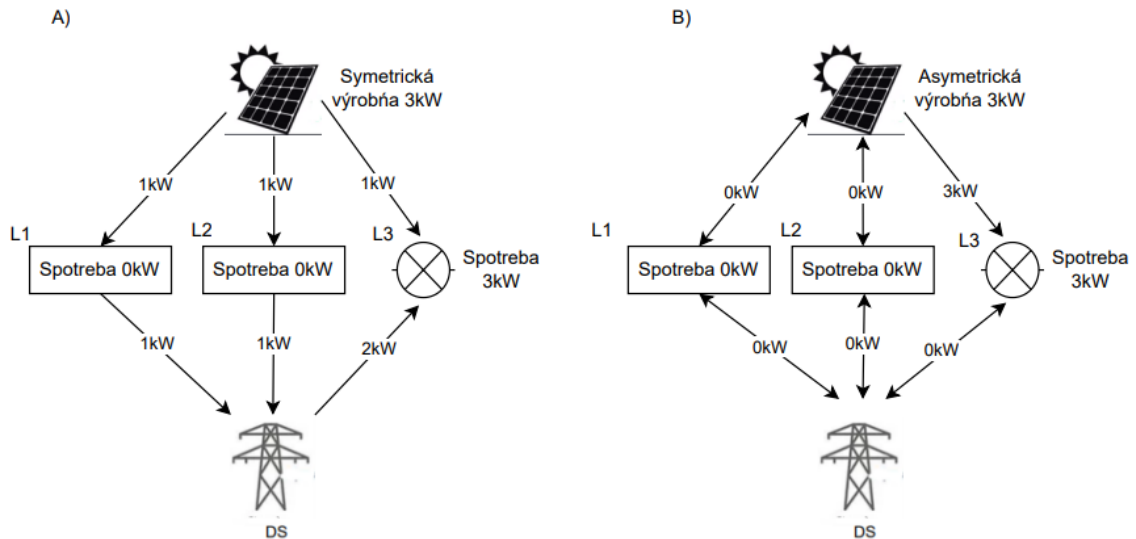
Modulový spôsob je z výkonového hľadiska najideálnejší kvôli tomu, že každý FV modul má svoj striedač a reguláciu MPP. Nevýhodou je veľký počet striedačov a tým aj ich vzájomná riaditeľnosť a veľká cena, taktiež tento systém má veľké straty a používa sa hlavne pri mikrozdrojoch. [20]

Symetria inverterov

Striedače delíme hlavne do dvoch kategórií a to:

- Symetrické striedače (Obrázok A)- Do každej fázy dodáva rovnaký výkon
- Asymetrické striedače (Obrázok B) - Do každej fázy dodáva rozdielny výkon

Veľkou výhodou symetrických striedačov je cena, lebo konštrukčne sú jednoduchšie a taktiež dimenzovanie jednotlivých fáz nemusíme moc predimenzovať. Naopak u asymetrického je treba dimenzovať každú fázu, napríklad na 3-krát väčší prúd pri plnej asymetrii, čo zvyšuje aj jeho cenu.



Obr. 2.14: Symetrický a Asymetrický striedač

Bežne však striedače dokážu dosahovať asymetrie na jednu fázu okolo 30%. Dôvodom prečo vlastne požadujeme od striedača asymetriu je ten, že našim cieľom je aby sa objekt tváril neutrálne k DS (pokryl svoju spotrebu v každej fáze) bez zbytočných pretokov do siete.

Hlavným dôvodom je aj fázové meranie elektromerov v ČR, v zbytku Európy sa využíva súčtové meranie.

Eliminácia pretokov do siete

Eliminácia prietokov sa dá 3 spôsobmi a to: [20]

- Odpojeným systémom - stýkač
- Riadenie výkonu výrobného zdroja - elektromer a inventar s možnosťou riadenia (Asymetria, dobíjanie akumuláčného systému).
- Riadenie spotreby - Regulátor toku výkonu (napr. Wattrouter)

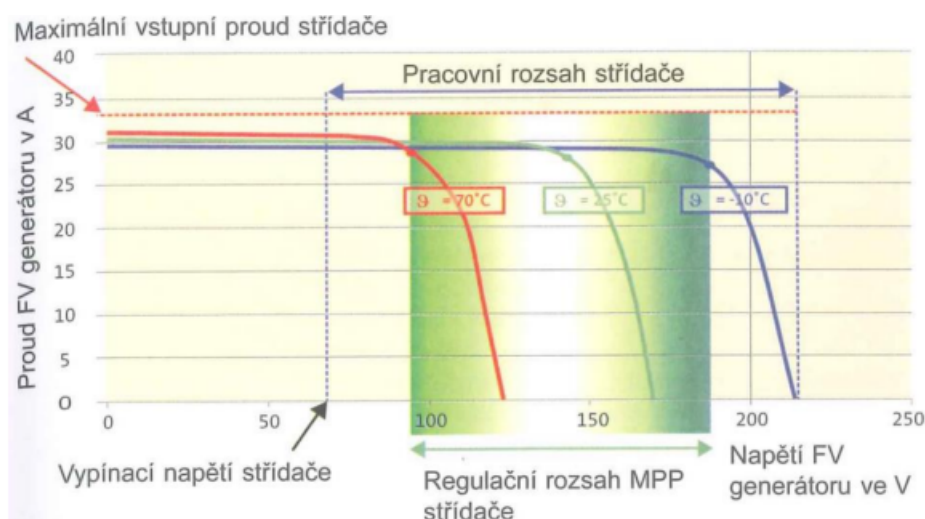
2.3.2 MPP-tracker

MPPT ovláda fotovoltaiku tak, aby z nej získal maximálny výkon. Z tohto dôvodu je potrebné zabezpečiť, aby MPPT neustále posúval svoju polohu MPP bodu, ak dôjde k akejkoľvek zmene prostredia. Preto sú regulátory MPPT navrhnuté tak, aby pokračovali v sledovaní MPP. Prítomnosť regulátora primerane mení odpor, ktorý vidí panel, a následne ho núti pracovať bližšie k MPP.[22]

Hybridný striedač môže disponovať viac nezávislými MPPT regulátormi. Zvyčajne sú to 2 až 4 s tým, že na jeden MPPT regulátor sa u väčšine striedačov dajú zapojiť až dva stringy. Pracovný rozsah MPPT môžeme vidieť na obrázku č.2.15

Rozsah napätia MPPT

Dôležitým parametrom striedačov je rozsah napätia MPP trackru, ktorý stanovuje v akých medziach dokáže striedač efektívne sledovať bod MPP a tým pádom dodávať maximálny výkon pri daných klimatických podmienkach.[4]



Obr. 2.15: Pracovný rozsah striedača a V-A charakteristika FV výroby pre rôzne teploty[4]

2.3.3 Optimizér

Na rozdiel od bežného striedača, striedač s nezávislými MPPT vstupom hľadá bod maximálneho výkonu pre celú jednu sériu FV modulov. Tu nastáva problém, ak je jeden z panelov v sérii postihnutý (napr. tienením). Pretože zatienený panel má inú A-V charakteristiku. Optimizér môžeme vidieť na obrázku 2.16. Tak dosahuje

menších prúdov, pre zjednodušenie si povieme, že na napätie to nebude mať vplyv, a tým aj menší výkon a začne kvázi brzdiť prúdovo celý string.

Optimizér hľadá bod maximálneho výkonu pre jeden FV modul v stringu. Sú zapojené do série v stringu na každom FV modul. Jedná sa kvázi o ďalší DC/DC menič, ktorého napätie je napätie FV modulu. Vďaka tomu, že je menič zapojený do série s ďalšími optimizérmi, vie aký prúd potrebuje z FV modulu a následne sa snaží dodať taký prúd, aby nebrzdil string. Zároveň znižuje výstupné napätie z optimizéru aby bola dodržaná podmienka že výkon z FV modulu vstupujúci do optimizéru sa rovnal výkonu vystupujúcemu $P_{in} = P_{out}$. [23]



Obr. 2.16: Optimizér od spoločnosti tigo [23]

2.3.4 Zoznam doporučených inventorov od EG.D

Na stránke od spoločnosti EG.D presnejšie (<https://www.egd.cz/zadost/pripojeni-vyroby-do-100-kw>) je zoznam odporúčaných striedačov pripojovaných do siete EG.D kategórie A2, aj zoznam odporúčaných sieťových ochrán. Uvedené typy striedačov boli testované spoločnosťou EG.D, podľa jednotnej metodiky na požiadavky spĺňujúce PPDS príloha č.4 pre výrobné kategórie A2 a predpokladá sa ich správne fungovanie s DS pri správnom nastavení parametrov.

Striedače, ktoré nie sú uvedené v zozname môžu tieto požiadavky spĺňovať. Tento zoznam je skôr informatívneho charakteru. [24]

2.4 Akumulačný systém

Možnosť akumulácie je pre ostrovné a hybridné systémy kľúčová, hlavne kvôli uchovaniu prebytku energie keď jej není potreba a následné energetické využitie uchovanej energie v dobe nedostatočnej výroby. Avšak akumulacným systémom nemusí byť iba batériové úložisko, ale aj úložisko vo forme napríklad stlačeného vzduchu, prečerpávacie systémy, zotrvačníky a veľa ďalších. V tejto sekcii sa budeme zaoberať batériovými úložiskami.

2.4.1 Druhy batériových akumulátorov

podľa materiálu rozdeľujeme batériové úložiská do troch kategórií a to:

- Olovené akumulátory - Pb
- Niklové - Ni-Cd; Ni-MH
- Lítiové - Li-Ion; Li-S

Olovené akumulátory

Medzi ich hlavné výhody patrí jednoduchosť a cena, ktorá sa pohybuje okolo $250\text{£}/kWh$, vysoké napätia na článok a spoľahlivosť. Nevýhodami sú hlavne životnosť a hustota energie, ktorá je len okolo $80Wh/dm^3$. Treba komplexnú riadiacu metódu nastavenia nabíjajúcich cyklov a synchronizáciu regulátorov nabíjania.[20, 25]

Niklové akumulátory

U niklových sa najčastejšie používala varianta Ni-Cd, od ktorej sa opúšťa kvôli kadmiumu ktorý je karcinogénny. Náhradou je varianta Ni-MH, ktorej hustota energie je typicky okolo $300Wh/dm^3$ a životnosť viac než 1000 cyklov. Jedná sa o taký kompromis medzi výkonom, energetickou spotrebou a cenou. Nevýhody sú hlavne cena, ktorá je okolo $1100\text{£}/kWh$, niekedy aj 10 až 12 krát drahšie ako Pb akumulátory, celkom vysoké samovybíjanie. Jedná sa o vzácne kovy. Tak isto ako u Pb akumulátorov treba komplexnú metódu nabíjania/vybíjania.[25]

Li-Ion akumulátory

Lítiové batérie dosahujú najväčšej hustoty energie až okolo $1000Wh/dm^3$, majú celkom malé rozmery a nízku hmotnosť, malé samovybíjanie, vysoký počet cyklov a kapacita. Medzi jeho hlavné nevýhody patrí veľká citlivosť na vybíjanie a prebíjanie, čiže treba komplexný elektronický obvod na pozorovanie napätia každého článku (BMS). Ďalšie nevýhody sú vyššie teploty a jeho cena okolo $1000\text{£}/kWh$.

V FV systémoch sa väčšinou stretávame s LiFePO4 batériami.[20, 25]

2.4.2 Systémy riadenia

V hybridnej elektrárni sa na monitorovanie a riadenie výroby a distribúcie energie môžu používať rôzne systémy. V tejto sekcii si popíšeme základné systémy ako systém riadenia batérií (BMS) a systém riadenia energie (EMS):

Battery Management System (BMS)

Systém BMS je špeciálne zodpovedný za monitorovanie a správu batérií alebo systémov na skladovanie energie. Monitoruje stav batérií vrátane stavu nabitia, teploty a ďalších relevantných parametrov, aby sa zabezpečila ich bezpečnosť, záchrana proti nevratnému poškodeniu batérie a aby sa nevykonávali žiadne nepovolené prevádzkové režimy. BMS poskytuje ochranné funkcie na ochranu batérií pred prebíjaním, hlbokým vybíjaním a inými škodlivými stavmi, ako napríklad keď BMS zaregistruje vybitie 90% DOD okamžite odpojuje dodávku energie z batérie.

Každý výrobca batérií má zvyčajne svoj vlastný BMS, ktorý sa dodáva spolu s batériami. Ak sa batéria skladá z viacerých stojanov alebo kontajnerov, každý z nich má zvyčajne vlastnú BMS. Hlavný systém BMS teda monitoruje, vyvažuje a chráni celý batériový systém.[26]

Energy Management System (EMS)

Celkovo EMS zvyšuje účinnosť elektrárne a uľahčuje integráciu do siete. EMS systém má viacero funkcií, ktoré si postupne prejdeme.

Monitorovanie a kontrola: EMS nepretržite monitoruje rôzne komponenty fotovoltaického systému, systémov akumulátorov a iných zdrojov energie. Zhromažďuje údaje aby zabezpečil, že všetky časti systému fungujú podľa očakávania a že aktuálny prevádzkový plán sa môže správne vykonávať. EMS možno často monitorovať a ovládať na diaľku, čím sa zefektívňuje údržba a prevádzka elektrárne.

Predpoveď a optimalizácia: EMS využíva predpovede počasia ale aj ďalšie údaje, ako sú ceny, očakávaná vyrobená energia a zaťaženie. Zohľadňuje aj dané obmedzenia, ako sú trhové pravidlá a zmluvné podmienky. To mu umožňuje optimalizovať prevádzku elektrárne vopred a tak, aby sa vyrobená energia využila čo najvýhodnejšie.

EMS kvázi dodáva výrobnú inteligenciu. Je zodpovedný za výpočet najekonomickejšieho ziskového dispečerského plánu pre nasledujúci čas za daných podmienok a podľa cieľa optimalizovať použitie energie.[26]

2.5 Výpočty parametrov pre FV systémy

Zo sekcie 2.1.2 vieme že napätie aj prúd FV článku sú závislé na teplote modulu a intenzite slnečného žiarenia. Výrobcovia udávajú parametre FV modulu väčšinou podľa podmienok STC a NOCT. NOCT je rozdielna, oproti STC sa meria s teplotou panelu $30^{\circ}C$ a žiarením $800W/m^2$.

Taktiež bežnými údajmi sú aj teplotné koeficienty napätia naprázdno β_{oc} , prúdu nakrátko α_{sc} a maximálneho výkonu γ_{max} . [27]

2.5.1 Tienenie FV modulov

Pri návrhu FV pola hra veľkú úlohu vzdialenosť jednotlivých radov FV modulov medzi sebou. Úlohou je aby rady FV modulov si netienili navzájom, kvôli obmedzovaniu výkonu, avšak treba brať ohľad na plochu inštalácie a možné limity objektu, ekonomiku atď. Poprípade previesť prerozdelenie FV modulov do viac stringov, použitie optimizérov atď.. Rozostupy vypočítame nasledovne: [27]

$$c = \frac{(a * \sin\alpha) - (a * \sin\beta)}{\tan\gamma} (m; m; -) \quad (2.4)$$

kde:

- a - Výška panelu s rámom
- α - Uhol náklonnú panelu oproti horizontálnej polohe
- β - Uhol náklonnú podkladu
- γ - Uhol dopadu slnečného žiarenia ($16,7^{\circ}$)

2.5.2 Maximálny počet modulov v stringu

Inventori majú nejakú svoju maximálnu hodnotu napätia do ktorej vedia pracovať " $U_{max,inv}$ ", ak dôjde k prekročeniu tejto hodnoty môže dojsť k nenávratnému poškodenie striedača.

Najväčšie prevádzkové napätie FV modulu je napätie na prázdno " U_{oc} ", ktoré môže v sieti nastať. Avšak výrobcovia udávajú túto hodnotu pri podmienkach STC ($25^{\circ}C$), musí dojsť k prepočítaniu tejto hodnoty na najnižšiu teplotu pomocou teplotného koeficienta na napätie naprázdno " β_{oc} ". V miernej klíme sa väčšinou uvažuje teplota $-10^{\circ}C$, na horách aj $-35^{\circ}C$. [27]

Maximálne napätia naprázdno FV modulu pri danej klíme môžeme určiť nasledujúcim zjednodušením vzťahom:[27]

$$U_{oc_{-10^{\circ}C}} = U_{oc} * (1 + \frac{\beta_{oc} * \Delta T}{100})(V; V; \%/^{\circ}C; ^{\circ}C) \quad (2.5)$$

kde:

- U_{oc} - Napätie naprázdno FV panelu pri podmienkach STC
- β_{oc} - Teplotný koeficient napätie naprázdno
- ΔT - Rozdiel teplôt STC ($25^{\circ}C$) a teploty v danej oblasti

Pokiaľ výrobca neudá teplotné koeficienty daného FV modulu, dá sa uvažovať zjednodušený nasledujúci prípad, kde sa uvažuje že mono/multikryštalický modul má pri teplote $-10^{\circ}C$ o 13% väčšie napätie naprázdno oproti STC.[27]

$$U_{oc_{-10^{\circ}C}} = 1,13 * U_{oc}(V; V) \quad (2.6)$$

Maximálny počet panelov v stringu

Sa určí už iba podielom maximálneho napätia inventora a maximálneho napätia FV modulu pri danej klíme podľa vzťahu: [27]

$$n_{max_{oc}} = \frac{U_{max,inv}}{U_{oc_{-10^{\circ}C}}}(-; V; V) \quad (2.7)$$

kde:

- $n_{max_{oc}}$ - Maximálny počet modulov v 1 stringu
- $U_{max,inv}$ - Maximálne napätie inventora
- $U_{oc_{-10^{\circ}C}}$ - Maximálne napätie naprázdno 1 modulu pri teplote $-10^{\circ}C$

2.5.3 Minimálny počet FV panelov v strigu

Pri zvyšujúcej sa teplote modulu klesá jeho napätie. Inventori majú danú nejakú minimálnu hodnotu MPPT napätia pri ktorej dokážu pracovať " $U_{MPPT,min}$ ", keď prevádzkové napätie klesne pod túto hodnotu, tak inventor nedokáže pracovať s najlepšou účinnosťou, pri najhoršom môže dojsť aj k odpojeniu. Minimálne napätie FV modulu v bode MPP sa navrhuje na danú teplotu závisiac od klimatu.[27]

Minimálne napätie FV modulu v bode MPP sa v ČR uvažuje pri teplote panelov až na $+70^{\circ}C$. Avšak veľa výrobcov neudáva túto hodnotu napätia pri teplote $+70^{\circ}C$ " $U_{MPP70^{\circ}C}$ ", väčšinou sú uvedené pri podmienkach STC. Prepočet napätia " U_{MPP} " na " $U_{MPP70^{\circ}C}$ " sa da obdobne ako pri rovnici 2.5 ale pomocou teplotného koeficienta na napätie v bode MPP " β_{MPP} ", avšak výrobcovia väčšinou tento údaj neudávajú. Väčšinou sa používajú štyri možnosti ako zistiť toto napätie FV modulu.[27]

a) - V prvom spôsobe potrebujeme aby nám výrobca uviedol hodnotu teplotného koeficientu maximálneho výkonu " γ_{max} ". Uvažujeme že bod MPP zmenou teploty pri konštantnom slnečnom žiarení bude lineárneho charakteru, keby sa pozrieme na $P - U$ charakteristiku FV modulu pri rôznych teplotách tak bod MPP sa pohybuje skoro lineárne. Avšak dopúšťame sa chybiť lebo zanedbávame zmenu prúdu v bode MPP pri zmene teploty modulu, táto zmena prúdu je však malá a zanedbateľná, ale má opačné znamienko ako zmena napätia (väčšou teplotou sa zvyšuje prúd). Tak uvažujeme $\gamma_{max} = \beta_{MPP}$. [27]

Minimálne napätie FV modulu v bode MPP sa následne vypočíta podľa nasledujúceho vzťahu:

$$U_{MPP,+70^{\circ}C} = U_{MPP} * (1 + \frac{\beta_{MPP} * \Delta T}{100})(V; V; \% / ^{\circ}C; ^{\circ}C) \quad (2.8)$$

kde:

- U_{MPP} - Napätie v bode MPP FV modulu pri podmienkach STC
- β_{max} - Teplotný koeficient napätia v bode maximálneho výkonu
- ΔT - Rozdiel teplôt STC ($25^{\circ}C$) a teploty v danej oblasti

b) - Ďalšia možnosť je použitie prepočítavajúcich tabuliek, kde nám stačí poznať teplotný koeficient napätia naprázdno " β_{oc} ", a znej pomocou tabuľky získať teplotný koeficient " β_{MPP} ". Tento spôsob nie je tak presný ako spôsob "a)" ale zato pracuje s väčšou rezervou.

Prepočítavajúcu tabuľku môžeme nájsť v Energetickej príručke [27]. Z tejto tabuľky pre monokryštalický modul platí že:

$$\beta_{MPP} = \beta_{oc} - 0.10(\% / ^{\circ}C) \quad (2.9)$$

$$\alpha_{MPP} = \alpha_{sk} - 0,07(\% / ^{\circ}C) \quad (2.10)$$

kde:

- β_{MPP} - Teplotný koeficient napätie v bode MPP FV modulu pri STC
- β_{oc} - Teplotný koeficient napätia naprázdno pri STC
- α_{MPP} - Teplotný koeficient prúdu v bode MPP FV modulu pri STC
- α_{sk} - Teplotný koeficient prúdu nakrátko u pri STC

Výpočet je obdobný ako v rovnici 2.8, podrobnejší postup nájdeme v Energetickej príručke na strane 5-25. Jedná sa iba o náhradu koeficientu " γ_{max} " za " β_{MPP} ". [27]

c)- Všeobecne ak neznáme teplotné koeficienty môžeme uvažovať zjednodušený nasledujúci prípad, kde sa uvažuje že mono/multikryštalický modul ma pri teplote $+70^{\circ}C$ napätie v bode MPP je 20% nižšie. [27]

$$U_{MPP,+70^{\circ}C} = 0,8 * U_{MPP} \quad (2.11)$$

d) - Posledná možnosť je využitie simulačného programu ako napríklad PVSOL. Potom len odčítame z charakteristiky bod " $U_{MPP,+70^{\circ}C}$ ".

Minimálny počet panelov v jednom stringu sa následne určí pomocou nasledujúceho vzťahu: [27]

$$n_{min} = \frac{U_{MPPT_{min}}}{U_{MPP,+70^{\circ}C}} \quad (2.12)$$

kde:

- n_{min} - Minimálny počet modulov v 1 stringu
- $U_{MPPT_{min}}$ - Minimálne pracovné napätie MPPT
- $U_{MPP,+70^{\circ}C}$ - Minimálne pracovné napätie modulu v bode MPP pri teplote $+70^{\circ}C$

Minimálne štartovacie napätie inventora nieje to isté ako minimálne pracovné napätie MPPT, väčšinou výrobcovia udávajú tieto dve hodnoty rovnaké, tomto prípade postupuje klasicky ako je uvedené vyššie, ale dá sa stretnúť aj s inventormi, ktoré majú " $U_{MPPT_{min}}$ " menšie ako " $U_{min_{inv}}$ ", väčšinou o 30 – 40V.

To je spôsobené pretože pred spustením inventora, súčiastky nefungujú, sú otvorené a napätie naprázdno bude pomerne vysoké. Po spustení inventora budú komponenty fungovať a napätie sa zníži na " U_{MPP} ". Aby sa predišlo opätovnému a opakovanému spusteniu inventorou, je štartovacie napätie inventorou vyššie ako minimálne pracovné napätie.

Pri návrhu sa odporúča uvažovať v rovnici 2.12 brať vyššie napätie, teda Minimálne štartovacie napätie inventora " $U_{min_{inv}}$ ", avšak nie je to nutnosť zaleží od inštalácie.[28]

2.5.4 Maximálny počet stringov

Pri návrhu FV systému je treba taktiež určiť či vstupný prúd z FV pola neprekročí vstupnú hodnotu prúdu inventora. Výrobcovia inventorov väčšinou udávajú dve hodnoty prúdu a to maximálny vstupný prúd " $I_{MPP_{max}}$ ", a maximálny vstupný skratový prúd " $I_{sc,inv_{max}}$ " na jeden MPPT vstup, ak má inventor MPPT vstupov viacej, tak sa tieto hodnoty sčítajú.

Maximálny stringový prúd " $I_{string_{max}}$ " väčšinou je určený skratovým prúdom FV modulu pri podmienkach STC " I_{sc} ". Pretože teplotný koeficient prúdu nakrátko je veľmi malá hodnota a nemusí dochádzať k prepočtu, ako bolo v rovniciach 2.5 až 2.12. Avšak intenzita žiarenia sa môže vyskytnúť aj väčšia ako pri STC, preto pre oblasti kde je tento predpoklad sa odporúča nastaviť maximálny stringový prúd na 1,25 násobok.[27]

$$I_{string_{max}} = I_{sc} \quad (2.13)$$

kde:

- $I_{string_{max}}$ - Maximálny stringový prúd FV modulu
- I_{sc} - Skratový prúd FV modulu pri podmienkach STC

Maximálny počet stringov " n_{string} " následne vypočítame podielom, ale odporúča sa vypočítať aj maximálny počet stringov iba na jeden MPPT.

$$n_{string} = \frac{I_{MPP_{max}} * n_{MPPT}}{I_{string_{max}}} \quad (2.14)$$

kde:

- $I_{string_{max}}$ - Maximálny stringový prúd FV modulu
- $I_{sc,inv_{max}}$ - Maximálny vstupný prúd do inventora
- n_{MPPT} - Počet MPPT v inventore

2.5.5 Dodatočné výpočty

Maximálny počet FV modulov v stringu podľa rozsahu napätia v MPPT $U_{MPPT_{max}}$. Ak máme zadané β_{MPP} alebo sme si ho navrhli, viac v sekcii 2.5.3. Avšak tento počet nemôže byť väčší ako výpočet v sekcii 2.5.2, pretože by mohlo dôjsť k nenávratnému poškodeniu inventora, $n_{max_{MPPT}} \leq n_{max_{oc}}$. [27]

Môžeme pre lepšiu voľbu počtu modulov urobiť výpočet pre maximálne napätie FV modulu v bode MPP, pri najnižšie teplote prostredia v tomto prípade $-10^{\circ}C$. [27]

$$U_{MPP_{-10^{\circ}C}} = U_{MPP} * (1 + \frac{\beta_{MPP} * \Delta T}{100})(V; V; \% / ^{\circ}C; ^{\circ}C) \quad (2.15)$$

kde:

- U_{MPP} - Napätie v bode MPP FV modulu pri podmienkach STC
- β_{max} - Teplotný koeficient napätia v bode maximálneho výkonu
- ΔT - Rozdiel teplôt STC ($25^{\circ}C$) a teploty v danej oblasti

Následne maximálny počet FV modulov v stringu vyrátame:[27]

$$n_{maxMPPT} = \frac{U_{MPPT_{max}}}{U_{MPP_{-10^{\circ}C}}} \quad (2.16)$$

kde:

- $n_{maxMPPT}$ - Maximálny počet FV modulov v stringu podľa MPP.
- $U_{MPPT_{max}}$ - Maximálne pracovné napätie MPPT.
- $U_{MPP_{-10^{\circ}C}}$ - Napätie v bode MPP FV pri teplote $-10^{\circ}C$.

2.5.6 Návrhový faktor inventora

Návrhový faktor inventora jedná sa o pomer pripojeného menovitého DC výkonu FV pola pri STC k menovitému výkonu AC strany inventora.[27]

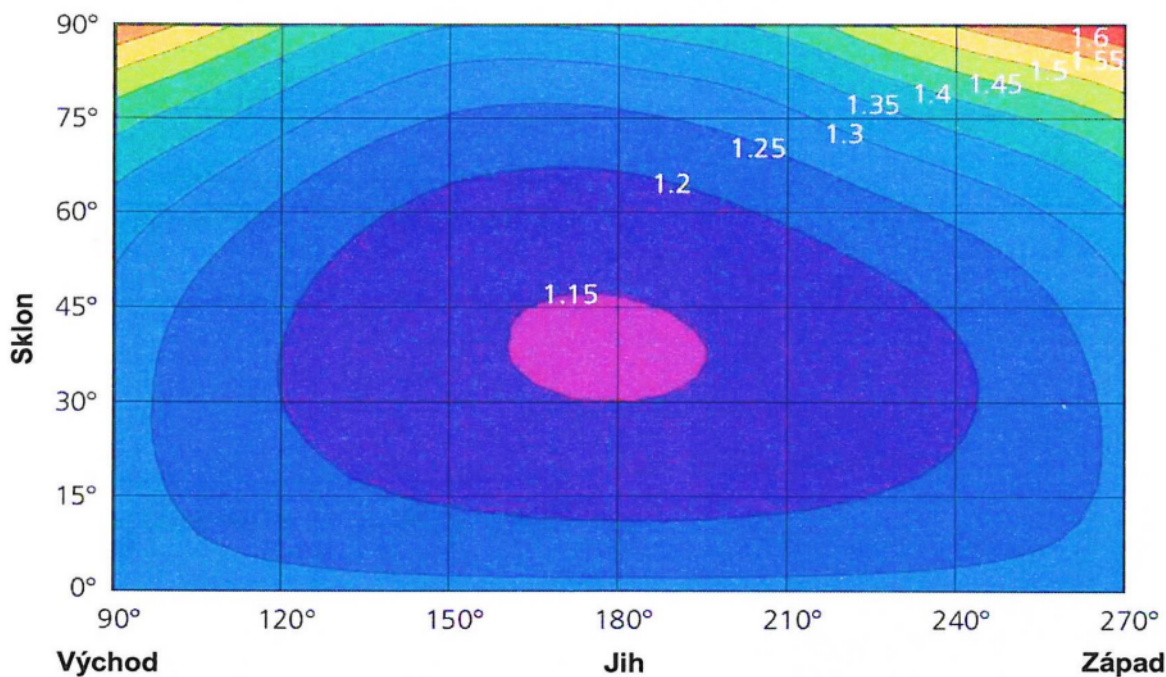
$$SR = \frac{P_{DC}}{P_{AC}} \quad (2.17)$$

kde:

- SR - Návrhový faktor inventora.
- P_{DC} - Menovitý výkon DC strany.
- P_{AC} - Menovitý výkon AC strany.

Návrhový faktor je spojený aj s chovaním striedača pri preťažení, napríklad keď dôjde k zvýšeniu výkonu nad hodnoty pri STC, môže dojsť k obmedzovaniu výkonu inventora s dôvodu termického zataženia alebo až k odpojeniu. Aby inventor dokázal tento výkon využiť, musí byť nad dimenzovaný alebo mať dobré vlastnosti pri preťažení.[27]

V ČR avšak nie sú dokonalé podmienky žiarenia, aby dochádzalo k vyšším hodnotám ako je uvedené pri podmienkach STC, tak je možné návrhový faktor voliť väčší ako 1 a vlastne navýšiť DC stranu oproti AC strane. Fraunhoferov inštitút vytvoril obrázok, kde sú uvedené rôzne hodnoty návrhových faktorov pre klimatické podmienky v ČR pri rôznom naklonení a orientácie FV modulov.[14]



Obr. 2.17: Dimenzovanie inventora podľa Fraunhoferova inštitútu[14]

2.5.7 Vzďialenosť od bleskozvodovej sústavy

V praxi sa najbežnejšie používa vzdialenosť 50cm, avšak táto vzdialenosť nemusí vždy vyhovovať. Pri výpočte vzdialenosti od bleskozvodu "S", je treba počítať vzdialenosť bodovo, pretože v každom bode strechy môžu platiť iné podmienky.[27, 29]

$$S = \frac{k_i}{k_m} * k_c * l \quad (2.18)$$

kde:

- S- Navrhovaná vzdialenosť od bleskozvodu
- k_i - Koeficient triedy LPS (I – 0.08; II – 0.06; III – 0.04; IV – 0.02)
- k_m - Koeficient izolácie medzi sústavou a FV modulom ($k_m = 1$ pre vzduch)
- k_c - Koeficient počtu zvodov v bode (1 = 1; 2 = 0.66; > 2 = 0.44)
- l- Vzdialenosť od najbližšieho uzemneného zvodu

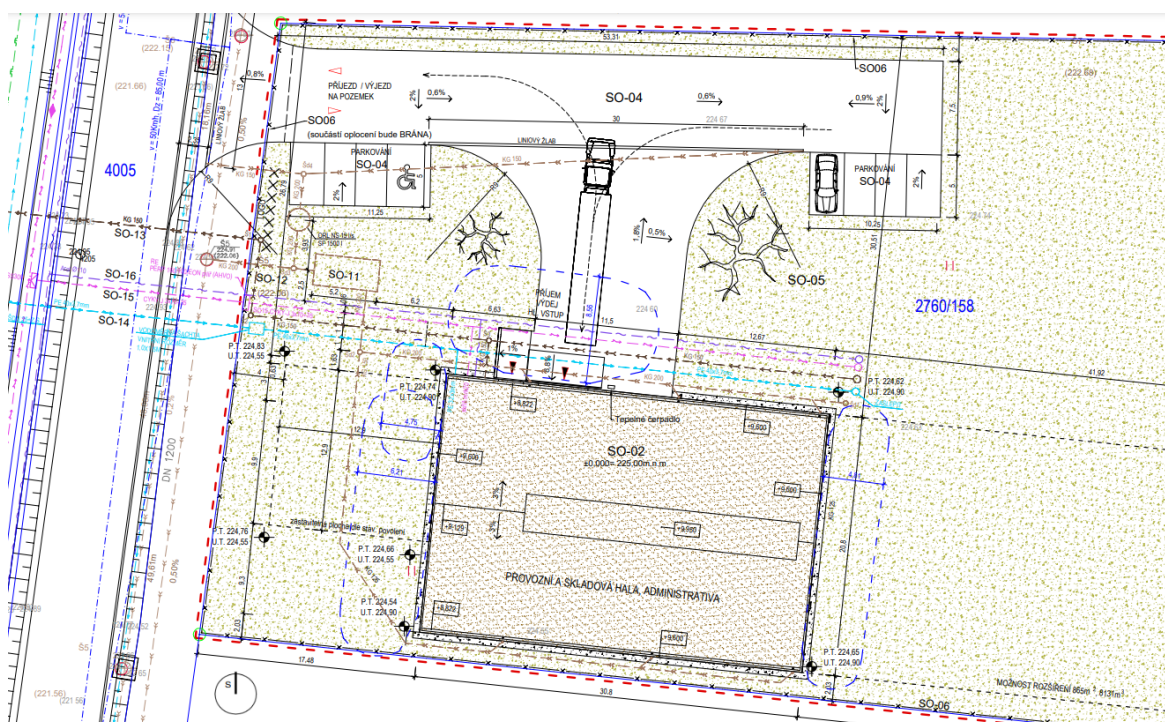
3 Návrh FV systému s akumuláčným zariadením

V tejto kapitole sa budeme zaoberať návrhom fotovoltaického systému s akumuláciou pre komerčný objekt spoločnosti fgFORTE. Objekt zahŕňa administratívne priestory, prevádzkovú a skladovaciu halu, pričom jeho umiestnenie je na parcele č. 2760/158 v katastri obce Holešov. Na obrázku 3.1 je zobrazený výrez zo situačného výkresu architektonickej štúdie, kde sú viditeľné rozmery a orientácia riešeného objektu.

3.1 Analýza objektu

Objekt je postavený v katastri obce Holešov, ako je uvedené vyššie podľa situačného výkresu na obrázku č.3.1. Objekt je orientovaný na juhozápad s azimutom 186° . Rozmery objektu sú $30,8 \times 20,8 \text{ m}$. Strecha je sedlová so sklonom 3° na severnú a južnú stranu. V strede strechy sa nachádza svetlák a strecha je ohraničená vyvýšenou konštrukciou (atikou).

Podľa EG.D musí situačný výkres obsahovať: vyznačenú polohu objektu, príjazdovú cestu a všetky vstupy do objektu.



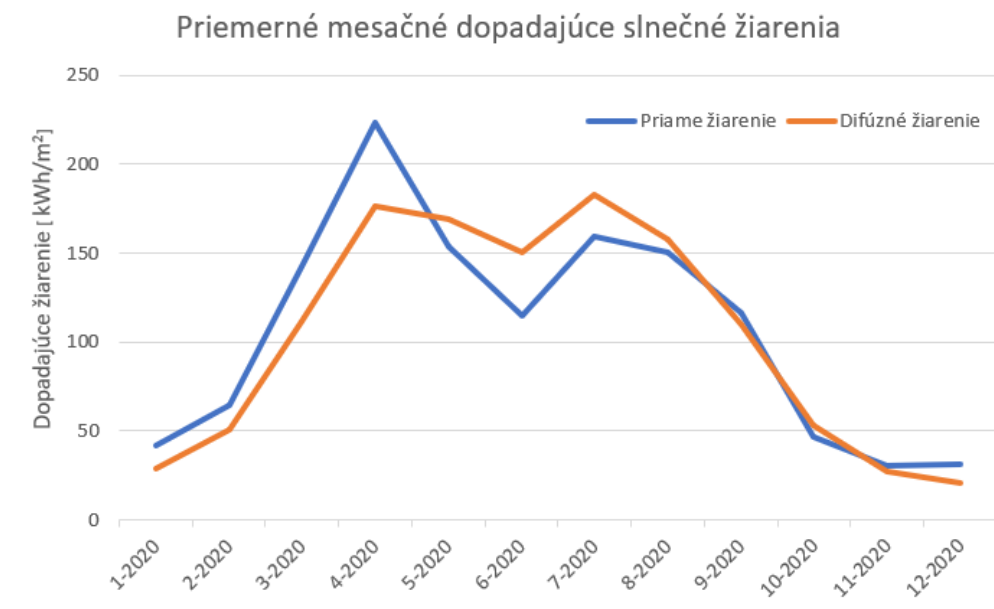
Obr. 3.1: Výrez zo situačného výkresu

3.1.1 Miestne podmienky

Na základe znalosti miestnych podmienok v našej lokalite, ktoré sú napríklad dostupnosť slnečného žiarenia, odstupová vzdialenosť a výška susedných budov a ďalších potenciálnych zdrojov tienenia, sila vetra a množstvo snehových zrážok (dimenzovanie podpornej konštrukcie a kotevných prvkov), vieme ďalej navrhovať našu výrobnú a hlavne správne nadimenzovať.

Objekt v Holešove sa nachádza v nadmorskej výške cca 225 m.n.m , podľa normy ČSN EN 1991-1-4 je vytvorená mapa vetrových oblastí v ČR, kde náš objekt spadá do oblasti I kde vychádza základná rýchlosť vetru je $v_{b0} = 22,5m/s$. Čo sa týka snehovej oblasti, Holešov spadá do II kategórie kde charakteristická hodnota je $1,00kN/m^2$. Priemerná intenzita dopadajúceho žiarenia sa veľmi líši od ročného obdobia v roku, pre riešený objekt nám poskytne program PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) konkrétne hodnoty difúzneho aj priameho žiarenia v mesiacoch v roku 2020, ktoré môžeme vidieť na obrázku č.3.2, z obrázku vypláva, že najväčších výkonov bude naša elektrárň dosahovať v letných a jarných mesiacoch. Celková ročná hodnota energie dopadajúceho globalného žiarenia v roku 2020 bola $1357,34kWh/m^2$ [12]

V blízkosti objektu by sa nemali nachádzať žiadne objekty, ktoré by svojou štruktúrou tienili výrobnú na streche komerčného objektu.



Obr. 3.2: Priemerná intenzita slnečného žiarenia za deň.

V programe SunnyDesign sme použili na odhad teploty pre FV moduly a má aj databázu teplôt okolia, ktoré využijeme na dimenzovania stringov pre MPPT striedača, kvôli zmene A-V charakteristiky od teploty FV modulu, viac v kapitole č.2.1.2, uvedené sú nasledovne:

Teploty okolia

- Ročná najnižšia teplota $-15^{\circ}C$
- Priemerná výška teploty $23^{\circ}C$
- Ročná najvyššia teplota $32^{\circ}C$

Odhadované teploty FV modulu

- Ročná najnižšia teplota $-10^{\circ}C$
- Priemerná výška teploty $50^{\circ}C$
- Ročná najvyššia teplota $70^{\circ}C$

3.1.2 Účel systému

Účelom FV systému je hlavne priama spotreba el. energie v mieste objektu, čiže zníženie energetickej závislosti od siete. Jeho ekonomickým aspektom je návratnosť investície vytvorenej úsporou nákladov na energiu a v prípade prebytku generovanej energie uloženie do akumuláčného zariadenia. Na základe toho umožňuje minimalizovať prietoky do siete, čo nám poskytuje ďalšie energetické zvýhodnenie.

Pre tento účel je najideálnejšia forma hybridný systém so spoločnou DC väzbou, kvôli jej nenáročnosti a menších obstarávacích nákladov, viac je uvedené v kapitole č.2.9. Pre tento účel bude systém obohatený aj o akumuláčné zariadenie v podobe batérií, ktoré budú zapojené paralelno-sériovo ako je uvedené v kapitole č.2.2.4, hlavne kvôli možnosti zálohy istých dôležitých el. okruhov alebo celého objektu. Orientácia FV modulov bude kombinácia východ-západ so sklonom 10° a to najmä kvôli tomu, že sa jedná o rovnú strechu. Pre lepšie priame využitie fotovoltaiiky počas dňa, je táto voľba lepšia, lebo panely začínajú produkovať skôr a končia neskôr a taktiež poludňajšia špička nie je tak vysoká, viac v kapitole č.2.1.4. Za týmto účelom sa využijú FV panely s technológiou "half-cut", viac v kapitole č.2.1.3.

Hlavný prívod distribučnej siete je vedený k parcele v zemi na hladine NN, jedná sa o podzemné vedenie 0,4kV. Na základe tohoto faktu musí dodržať určité ochranné pásmo elektrizačnej sústavy, jedná sa o priestory v blízkosti tohoto zariadenia.

3.1.3 Spotreba objektu

Predpokladaná ročná spotreba el. energie v objekte je odhadovaná na $190MWh$. Presný profil spotreby nie je známy. Inštalovaný výkon spotrebičov sa odhaduje na 110 kW s maximálnym súdobým príkonom 63 kW. Jedná sa o objekt so skladovacou a prevádzkovou halou určený hlavne na administratívu, ale aj na výrobu, výskum a skladovanie trakčných akumulátorov. Čo sa týka výroby v tomto nejde o výrobu v zmysle úpravy a spracovania materiálov, ale skôr o montáž zostáv z rôznych hotových výrobkov. Taktiež vykurovanie objektu je zhotovené pomocou tepelných čerpadiel (vzduch/voda) a taktiež sa v objekte nachádza možnosť dobíjania elektromobilov.

Na základe týchto údajov sme mohli zvoliť v programe PV SOL už preddefinovaný profil rozloženia spotreby, na základe nemeckých normalizovaných diagramov dodávky energie. Tento profil spotreby nájdete v prílohe B dokumentácia simulácie v programe PV sol.

3.2 Inštalácia FV systému

FV panely budú umiestnené na streche, kde je predpripravená vyvyšovacia konštrukcia na severnej a južnej strane strechy s dodržanými vzdialenosťami od bleskozvodovej sústavy. Táto konštrukcia vynesie FV panely na výšku atiky a teda tienenie atikou bude minimalizované. Treba dbať ale na vzájomné tienenie panelov.

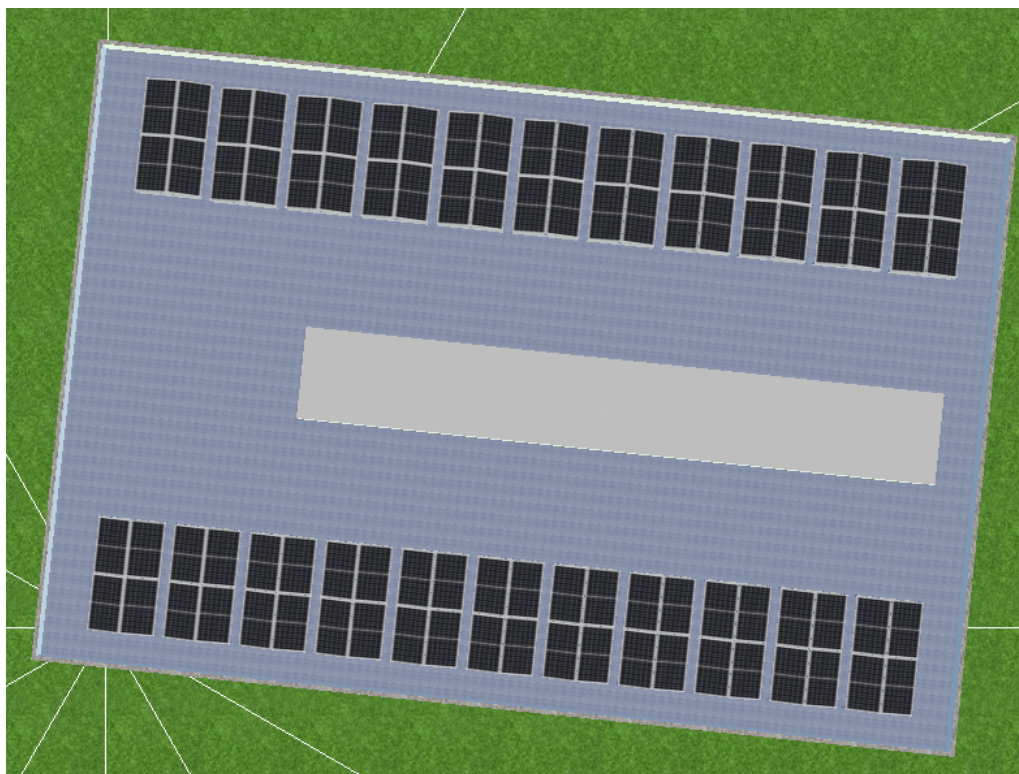
Avšak pri umiestňovaní technológie treba dbať na bezpečnú požiarnu vzdialenosť od svetlíka a to 3,5m a na bezpečné vzdialenosti od bleskozvodovej sústavy, ktorá bude činiť minimálne 50cm.

Umiestnenie DC,AC rozvádzačov a inventora s batériami bude v 2 NP. v technickej miestnosti, viac nájdete v prílohe a na výkrese D.2.1.6.

Ľavá strana strechy je nevyužitá, pretože nie je spravená predpripravená konštrukcia, avšak dá sa do budúcnosti využiť pri potenciálnom zväčšovaní FV výroby. Takisto sa dá do budúcnosti rozmýšľať aj nad prístreškami nad parkovisko, kde by sa dali tiež umiestniť FV moduly.

Pre tento účel bol zhotovený 3D model v programe PV SOL aj so simuláciou vzájomného tienenia FV modulov. viac na obrázkoch č.3.3 a č.3.4 na ďalšej stránke.

Zhotovenie bude následovné. Z 88 modulov budú 4 stringy každý po 22 modulov. Na prvý MPPT vstup pôjdu dva východne orientované stringy a na druhý MPPT vstup dva západne orientované stringy.



Obr. 3.3: Pohľad zhora 3D model v PV SOLE



Obr. 3.4: Simulácia tienenia FV modulov počas roka

3.2.1 Výber FV modulov

Podľa dostupných údajov o objekte sa navrhla inštalácia 88ks FV modulov s menovitým inštalovaným výkonom 450 Wp. Celkový inštalovaný výkon činí 39,6 kWp. Vybrali sa FV moduly od značky CANADIAN SOLAR HiKu6 Mono PERC CS6L - 450MS. Tieto panely využívajú technológiu PERC a half-cut, viac v sekcii č.2.1.3.

Výrobca garantuje pokles výkonu do maximálne 2% prvý rok a lineárny pokles výkonu 0,55% po dobu 25 rokov s 12 ročnou zárukou. Najdôležitejšie parametre nájdeme v tabuľke č.3.1 nižšie. Pre bližšie informácie je v prílohe C datasheet od výrobcu.

V prípade nedostupnosti FV modulu je možné použiť ekvivalentné náhrady s podobnými parametrami a podobnými alebo menšími rozmermi.(napr. AIKO-A450-MAH54Mw; JinkoSolar Tiger NEO 54HL4R-(V); JinkoSolar Tiger Pro 60HC; ODZ Solar CDZ-S120/M10H)

Tab. 3.1: CANADIAN SOLAR HiKu6 Mono PERC CS6L - 450MS parametre

Rozmery	Hmotnosť	Kabel	P_{STC}	U_{OC}	I_{SC}	U_{MPP}	I_{MPP}	η
(mm)	(kg)	(mm ²)	(Wp)	(V)	(A)	(V)	(A)	(%)
1903x1134x30	24,2	4	450	41	13,9	34,4	13,1	20,9

3.2.2 Výber hybridného striedača

V rámci návrhu bol vybraný systém od spoločnosti Solax. Hybridný striedač Solax-X3-ultra 30 kW je výborná voľba pre konfiguráciu východ/západ hlavne vďaka 200% preťaženiu DC strany a 200% preťaženiu AC strany po dobu 10s. Taktiež obsahuje aj umelú inteligenciu pre predpovedanie výroby el. energie a spotreby v objekte. Stratégia inteligentného riadenia spotreby energie VPP ready, podpora pripojenia agregátorových zdrojov, inteligentné riadenie záťaží(napr. tepelné čerpadlo, nabíjačka EV), vyrovnávanie výkonu medzi PCS a hybridným systémom v reálnom čase. Podpora režimu plánovania 7 × 24 hodín. Systém disponuje aj robustnou zálohou, ktorá vie zareagovať do $\leq 10ms$. Taktiež systém disponuje funkciou "zero waste", ktorý zaručí najlepšie využitie vyrobenej el. energie.

Striedač Solax-x3-ultra disponuje aj dvomi nezávislými portami pre batérie a zálohovaným výstupom. Najdôležitejšie parametre sú uvedené v tabuľke č.3.2, pre bližšie informácie je v prílohe C uvedený datasheet od výrobcu.

Tab. 3.2: Parametre striedača Solax-X3-Ultra

Vstupné DC parametre			Vystupné AC parametre		
Max DC výkon	(kWp)	60	Max AC výkon	(kVA)	30
Max DC napätie	(V)	1000	Menovity AC prúd	(A)	43,5
Počet MPPT	(-)	3	Frekvencia	(Hz)	50
Počet stringov na 1 MPPT	(-)	2	Menovité AC napätie	(V)	400
Max vstupný prúd	(A)	36	Batérie		
Max skratový prúd	(A)	45	Typ batérie	(-)	Lithium-ion
Napätový rozsah MPPT	(V)	160-950	Rozsah napäti batérie	(V)	180-800
Štartovacie napätie	(V)	200	Max. vybíjací/nabíjací prúd	(A)	60(30x2)
Obecné parametre					
Rozmery	(mm)	696 × 526 × 240	Váha	(kg)	47
Maximálna účinnosť	(%)	97,7	Menovitá účinnosť nabíjania batérie	(%)	98,5%
Európska účinnosť	(%)	98	Menovitá účinnosť vybíjania batérie	(%)	97%

3.2.3 Výber akumuláčného systému

V rámci návrhu sa bude jednať o batériové úložisko od firmy Solax, presnejšie sa bude jednať o 2 systémy Solax T-BAT-SYS-HV-S22,5. Jeden systém bude obsahovať jednu BMS jednotku TBMS-MCS0800 a 9 batériových modulov Li-ion TP-HS2.5, kde jeden modul má 2,5 kWh. Dohromady sa bude jednať o akumuláčny systém so 46 kWh akumuláčnou schopnosťou, avšak reálne využitie je 41,4 kWh.

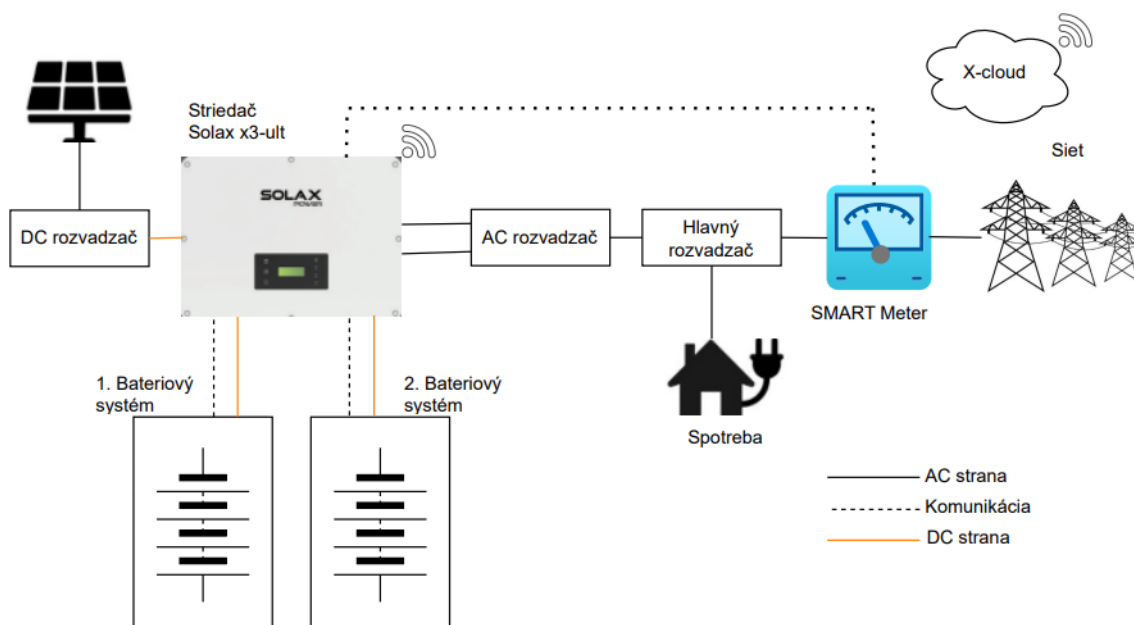
Najdôležitejšie informácie sú uvedené v tabuľke č.3.3. Pre bližšie informácie je v prílohe priložený datasheet od výrobcu.

Tab. 3.3: Parametre batériového systému T-BAT-SYS-HV-S22,5

Menovitá kapacita	(kWh)	23	Hĺbka vybitia	(%)	90
Max výkon	(kWh)	20,7	Menovitý výkon	(kW)	13,8
Menovité napätie	(V)	460,8	Typ batérie	(-)	Li-ion
Napätový rozsah	(V)	405-522	Rozmery	(mm)	510x365 x1460
Nabijací/vybijací prúd	(A)	30	Max. nabijací/ vybijací prúd	(A)	45

3.3 Topologické riešenie

Bude nainštalovaných 88 kusov FV modulov na streche objektu, rozdelených do 4 radov po 22 kusov, pričom 2 rady budú umiestnené na severnej strane strechy a 2 na južnej. Z týchto modulov bude 44 kusov orientovaných na východ a ďalších 44 kusov na západ. Pre správne stringovanie budú vytvorené 4 stringy, pričom každý string bude obsahovať 22 FV panelov. Dva stringy budú pripojené na jeden MPPT tracker. Je dôležité zabezpečiť, aby stringy pripojené k jednému MPPT boli rovnakej orientácie, teda že stringy orientované na východ nebudú pripojené k stringom orientovaným na západ. Výsledný náčrt stringovania je uvedený v prílohe B.



Obr. 3.5: Topologia zapojenia

Na severnej strane strechy budú dva stringy: jeden s 22 panelmi orientovanými na západ a druhý s 22 panelmi orientovanými na východ. Podobne to bude aj na južnej strane strechy. Tento systém budem zapojený s DC väzbou. Schéma znázorňujúca topológiu zapojenia je zobrazená na obrázku č.3.5 na predošlej strane. Jednopolové schéma je v prílohe s názvom

3.4 FV Optimizéry

V inštalácii budú inštalované na každý FV modul výkonové optimizéry od spoločnosti TIGO. Presnejšie sa jedná o optimizéry Tigo Energy TS4-A-O s výkonom pre fotovoltaiický panel do 700W s prístupovým bodom TAP (gateway) a jednotkou CCA (Cloud Connect Advanced).

Rada optimizéru TS4-A-O spĺňajú hneď 3 základné funkcie a to:

- Zvýšenie energetického výnosu
- Bezpečné dotykové napätie (funkcia rapid shutdown)
- Monitoring

3.4.1 Zvýšenie energetického výnosu

Funkcia optimizéru je opísaná v sekcii č.2.3.3, avšak v tomto prípade nie je cieľ optimizérov len zvýšenie energetického výnosu, pretože FV moduly si navzájom netienia veľmi a v okolí sa nenachádzajú budovy, ktoré by svojou štruktúrou zasahovali alebo tienili FV moduly.

3.4.2 Bezpečné dotykové napätie (funkcia rapid shutdown)

Pri zapojení aj ostatných komponentov (TAP a CCA ukázané na obrázku č.3.6) je možné spojzduň ochranné funkcie, ktoré optimizér ponúka. CCA bude zapojené v AC rozváždači, ako je ukázané na jednopolovej schéme. Kvôli dosahu musia byť použité dve zariadenia Tigo-TAP (Gateway), ktoré sú medzi sebou prepojené RS485 komunikáciou. Jedna bude na severnej strane strechy v strede a druhá na južnej.[30]

Pri správnom zapojení, funkcia rapid shut down spôsobí že pri poruche požiaru, alebo pri stlačení TOTAL STOP, či vypnutí invertora dôjde k odpojeniu všetkých panelov respektíve skratovaním. Vďaka tejto funkcii nehrozí úraz pri vysokom napätí a je dodržané bezpečné dotykové napätie.[30]

3.4.3 Monitoring

Po inštalácii TAP, CCA a stiahnutí aplikácie od firmy Tigo Energy na monitoring. Je možné sledovanie a kontrola jednotlivých FV modulov, na ktorých boli nainštalované optimizéry TS4-A-O.[30]



Obr. 3.6: Tigo energy CCA a TAP

3.5 Konštrukcia FV modulov

Na predpripravenej nosnej konštrukcii sa vynesú priečne nosníky vo výške atiky, čím sa minimalizuje tienenie atiky, hlavne na južnej strane, na ktoré sa budú uchycovať hliníkové, uholníkové konštrukcie s uhlom sklonu 10° , s horizontálnym uloženým FV modulov. Na obrázku č. 3.7 je znázornený príklad takejto konštrukcie. FV moduly sa na uholníkovú konštrukciu uchytia pomocou hliníkových krajných a stredových úchytiak.

Na jeden FV pár (jeden na východ, druhý na západ) budú požité 3 uchytovacie konštrukcie. Viac informácií a aj rez konštrukcie je vo výkrese D.2.1.5 Rozmiestnenie FV panelov.



Obr. 3.7: Príklad konštrukcie východ/západ[31]

3.6 Technické riešenie

Inštalácia solárnych panelov na streche objektu bude realizovaná prostredníctvom DC solárnych káblov o priereze 6mm^2 s dvojistou izoláciou. Tie budú pripojené do rozvádzača R-DC v 2.NP. Na jeden string bude osadených 22 FV modulov. Na každom FV panely bude osadený optimizér TS4-A-O. Káble budú vedené cez priechodku s priemerom 90 mm. V rozvádzači budú osadené odpojovače DC 1000 V s poistkovými vložkami 20AgR a ochrana proti prepätiu T1 + T2 DC 1000 V. K hybridnému striedaču Solax X3-ULT budú vedené káble 6mm^2 a z R-DC. Zo striedača budú vedené dva káble H07RN-F $5G10\text{mm}^2$ na zálohovaný a nezálohovaný okruh do rozvádzača R-AC.

V rozvádzači R-AC budú zálohovaný ale aj nezálohovaný prívod chránené ističmi 63A/B/3p. Na nezálohovanej časti bude umiestnená prepäťová ochrana T1+T2 a za ňou sieťová ochrana UF300. Sieťová ochrana ovláda hlavne rozpadové miesto KA1, ktorý vybaví pri výpadku siete alebo pri vyššej odchýlke od povolených hodnôt podľa PPDS. V zálohovanej časti bude umiestnené Tigo CCA pre monitorovanie a funkciu rapid shutdown pre jednotlivé FV panelov. Na oboch okruhoch budú takisto odpojovacie stykače, pre zálohovaný okruh stykač KM1 a pre nezálohovaný okruh KM2. Tieto stykače budú ovládané pomocou tlačítka CENTRÁL STOP, ktorý zaručí odpojenie výroby od siete aj spotrebičov. Tlačítko CENTRAL STOP je takisto spojené s tlačítkom TOTAL STOP a pri stlačení total stopu vybaví aj centrálny stop.

Výstupy zo zálohovaného a nezálohovaného okruhu budú cez 63A/3p a 160A/3p odpojovače pripojené do automatického prepínača sietí QP1. Nezálohovaný okruh bude spolu s prívodom z elektromerového rozvádzača pripojený na istú zbernicu a spoločný kontakt QP1, je treba použiť 160A/3p odpojovače. Vývod z QP1 bude cez kábel H07RN-F 5G120+70 do hlavného rozvádzača RH1. V rozvádzači RH1 bude prívod z rozvádzača R-AC istený ističom 160A/B/3p. Rozvádzač RH1 zostane bez zmeny a automatickým prepínačom sietí zaručíme plnú zálohu objektu.

Všetky prvky ako rozvádzače R-AC, R-DC, striedač a batérie budú umiestené v technickej miestnosti v 2.NP. Viacej podrobností je v prílohe A v technickej správe spolu s výkresmi.

Nastavenie sieťovej ochrany U-F 300 a ostatné energetické ochrany sú uvedené viac v technickej správe D.2.1.1 so súladom s PPDS prílohy č.4 a RfG s inštalovaným výkonom do 50 kW.

3.7 Ekonomicko-energetická analýza

V programe PV sok bola prevedená ekonomická aj energetická analýza, podrobnejšie uvedené v prílohe B.

V simulácii sa ráta, že investor bude prostriedky hradíť z vlastných zdrojov. Taktiež sú v simulácii zarátané aj predpokladané výmeny komponentov a ďalšie investície počas životnosti elektrárne, ktorú uvažujeme 40 rokov. Počiatočná investícia je vyčíslená na 1 795 450kč s DPH. Rozpis daných položiek a ich cena na rok 2024 sú uvedené v tabuľke č.3.4.

V rámci ekonomickej analýzy sa uvažuje tarif od E.ON energy C56d. Jedná sa o dvojtarifný balíček s nízkym tarifom 22 hodín. Kde cena v NT je 4,048kč/kWh a VT je 4,247kč/kWh.

Dotáčná výzva RES+ č.1-4/2024

Podmienkou dotácie je elektráreň s výkonom od 10kWp do 5MWp. Dotáciu môžu dostať jestvujúci alebo budúci držitelia licencie pre podnikanie v energetických odvetviach s podmienkou realizácie do 3 rokov. Ukončenie príjmu žiadosti je do 31.10.2024. Maximálna výška dotácie je možná na 50% ceny projektu.

Na stránke štátneho fondu životného prostredia je aj uvedený interaktívny nástroj na výpočet maximálnej nožnej dotácie na základe technických parametrov FVE v kč. Maximálna dotácia pre našu výrobu bola vyčíslená na 572 768kč.[1]

Tab. 3.4: Investície náklady + dotácia

Položka	Počet kusov (ks)	Cena za kus (kč)	Celková cena (ks)
FV moduli Canadian Solar CS6L-450MS	88	3 750	330 000
Optimizéry Tigo TS4-A-O 700W	88	1 250	110 000
Inventor Solax-X3-Ultra 30K	1	100 000	100 000
Baterky HS.2.5	18	35 000	630 000
BMS TBMS-MCS0800	2	50 000	100 000
Sietová ochrana UF300	1	5 750	5 750
Konštrukcia	110	3 000	330 000
Stojan na baterky	2	2 500	5 000
Energymeter Solax DTSU666	1	4 250	4 250
Skrinky AC/DC	2	2 000	4 000
Automatický prepínač stieti	1	6 250	6 250
DC kable 6mm2 (400m)	-	-	11 200
AC kable (10m)	-	-	3 000
Cena zhotovenia	-	-	100 000
Komponenty ističe, odpojovače atď	-	-	50 000
Revízia	-	-	6 000
Celková cena s DPH			1 795 450
Výška dotácie			572 768
Cena s DPH a s dotáciou			1 222 682

Pre získanie dotácie RES+ je treba splniť špecifické požiadavky, ktoré sú uvedené na stránke štátneho fondu životného prostredia [1]. V tabuľke č.3.5 sú uvedené technické podmienky, ktoré musí FVE spĺňať pre udelenie dotácie.[1]

Tab. 3.5: Kontrola podmienok na získanie dotácií[1]

Podmienky dotácie	Náš navrhnutý FVE systém
Min. 20% účinnosť pre monokryštalické FV moduly	20,9%
Min. európska účinnosť meniča 97%	97,7%
Min 20 ročná záruka na pokles výkonu FV modulu na 80% menovitého výkonu	87 %
Min. 12 ročná produktová záruka	12
Min. 10 ročná záruka na menič	10
záruka s max. poklesom na 60 % nominálnej kapacity po 10 rokoch prevádzky, alebo dosiahnutie min. 2 400-násobku nominálnej energie (Energy Throughput)	záruka 10 rokov na pokles 80% kapacity.

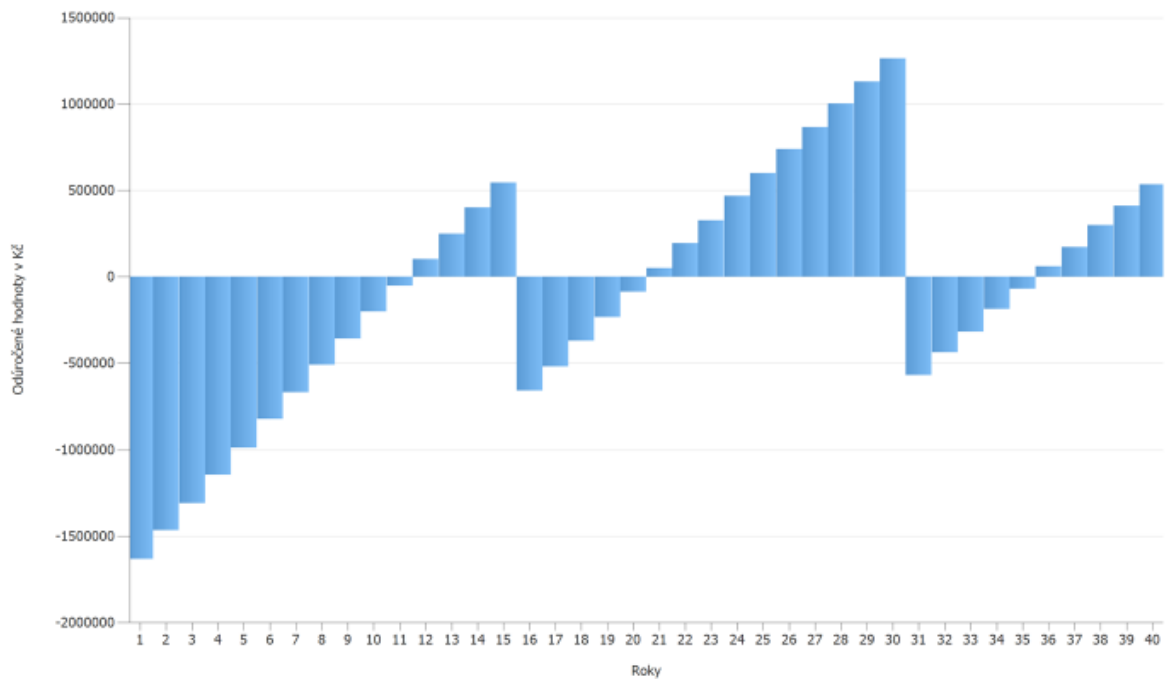
Na základe simulácie v programe PV sol, bola vyrátaná energetická bilancia a predikcia výroby ako je uvedené v tabuľke č.3.6. Znárodnenie predikcie výroby a spotreby je v prílohe B a výsledky simulácie v programe PV sol.

Tab. 3.6: Energetická bilancia

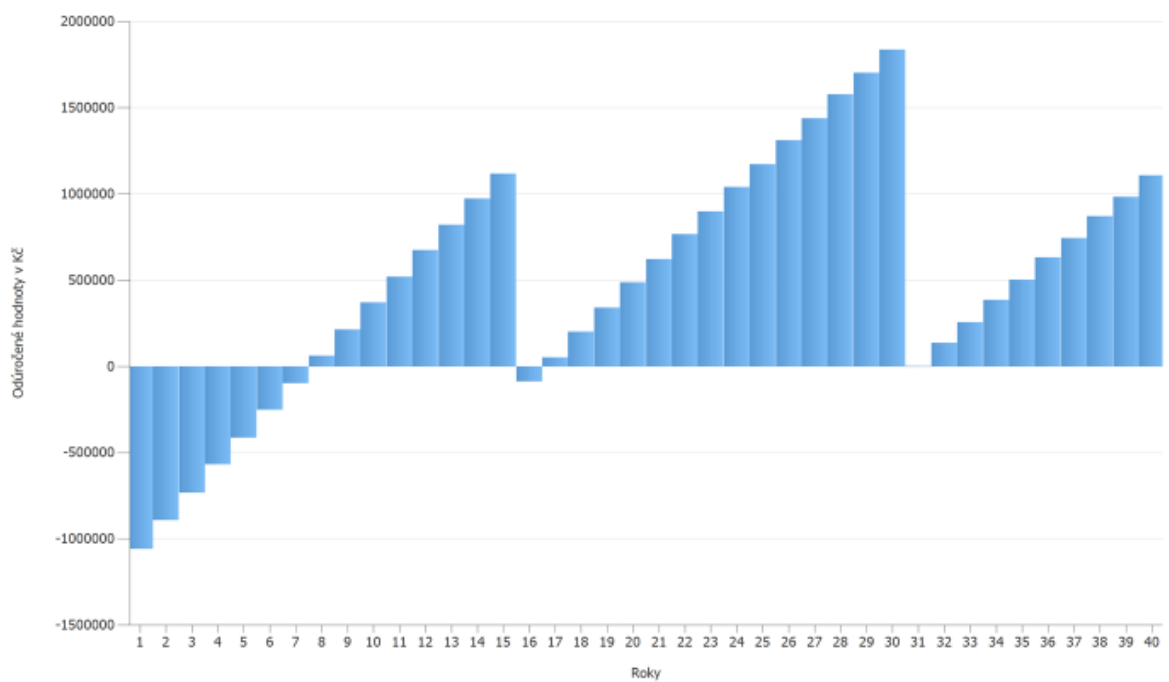
Energetická bilancia FV systému	Vlastná spotreba s akumuláciou
Vyrobená energia (kWh/rok)	40 060
Vlastná spotreba (kWh/rok)	40 049
Pretoky do siete (kWh/rok)	11
Miera sebestačnosti (%)	21,1
Miera využitia vlastnej energie (%)	99
Vnútoraná miera návratnosti (%)	8,04

Z výsledkov je vidieť, že primárne sa vyrobená energia spotrebuje v objekte vďaka tomu, že sa jedná o firmu, ktorá má svoju najväčšiu spotrebu počas najväčšej výroby FV elektrárne, s výnimkou víkendov.

Na obrázkoch č.?? nižšie môžeme pozorovať porovnanie kumulovaného finančného toku s dotáciou a bez.



Obr. 3.8: Kumulovaný finančný tok bez dotácie



Obr. 3.9: Kumulovaný finančný tok s dotáciou

3.8 Výpočty FV systému

Výpočty parametrov FV systému

V tejto sekcii budú prevedené výpočty podľa kapitoly č.2.5. Medzi prvými parametrami bude výpočet návrhového faktora inventora podľa rovnice 2.17, kde parametre systému sú $P_{DC} = 39,6kWp$, $P_{AC} = 30kW$.

$$SR = \frac{P_{DC}}{P_{AC}} = \frac{39,6}{30} = 1,32(-)$$

Následovne treba určiť maximálny počet FV panelov v jednom stringu podľa rovníc 2.5 a 2.7, kde $U_{oc} = 41V$.

$$U_{oc_{-10^{\circ}C}} = U_{oc} * (1 + \frac{\beta_{oc} * \Delta T}{100}) = 41 * (1 + \frac{(-0,26) * (-35)}{100}) = 44,731V$$

$$n_{max_{MPPT}} = \frac{1000}{44,731} = 22,36 = 22(-)$$

Maximálne napätie jedeného stringu pri teplote $-10^{\circ}C$ dokopy následne vyrátame jednoduchým násobením.

$$U_{MAX_{oc_{-10^{\circ}C}}} = n_{max_{MPPT}} * U_{oc_{-10^{\circ}C}} = 22 * 44,731 = 984,08V$$

Ďalší je na rade výpočet minimálneho počtu FV panelov v stringu podľa rovníc 2.8, kde $U_{MPP} = 34,4V$.

$$U_{MPP_{+70^{\circ}C}} = U_{MPP} * (1 + \frac{\beta_{MPP} * \Delta T}{100}) = 34,4 * (1 + \frac{(-0,26) * 45}{100}) = 30,38V$$

Avšak podľa simulácie v PV sole vyšlo $U_{MPP_{+70^{\circ}C}} = 28,5V$ Následne minimálny počet FV modulov zo tringu, aby dokázalo MPPT pracovať, bude podľa vzorca 2.12

$$n_{min} = \frac{U_{MPPT_{min}}}{U_{MPP_{+70^{\circ}C}}} = \frac{160}{28,5} = 5,61 = 6(-)$$

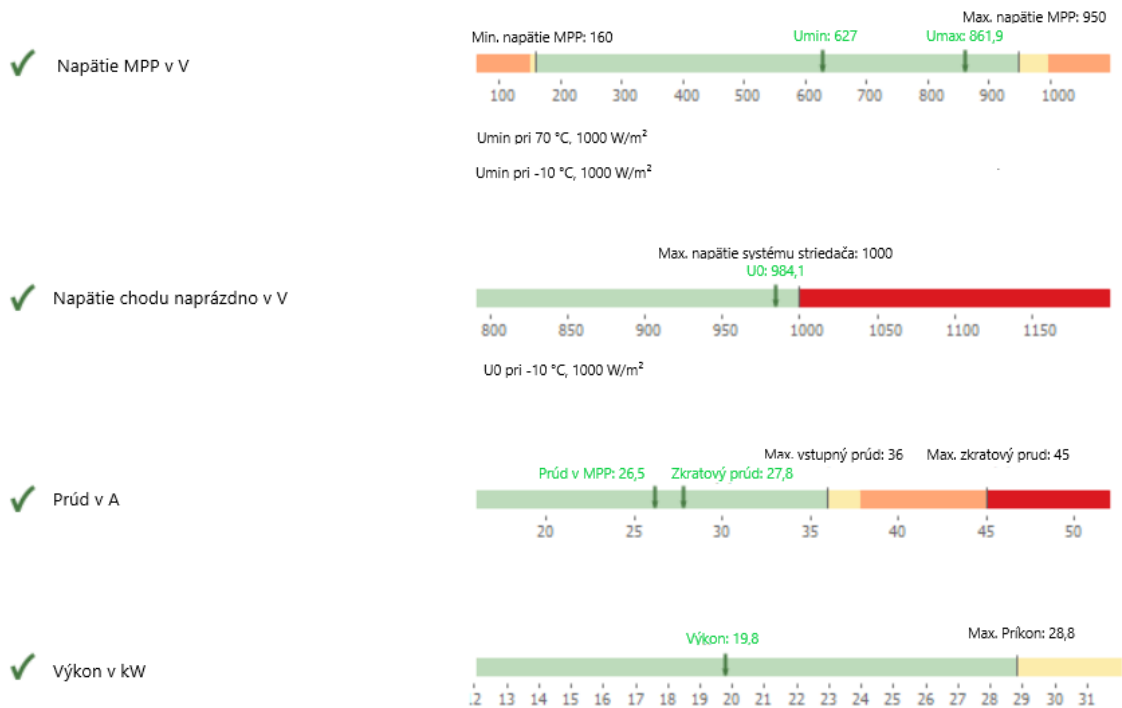
$$U_{MIN-MPP_{+70^{\circ}C}} = n_{modulov} * U_{MPP_{+70^{\circ}C}} = 22 * 28,5 = 627V$$

Maximálny počet stringov na jeden MPPT vstup následne vyrátame podľa rovnice 2.14, kde $I_{string_{max}} = I_{SC} = 13,9A$ a maximálny vstupný prúd pre jeden MPPT je $I_{MPP_{max}} = 36A$

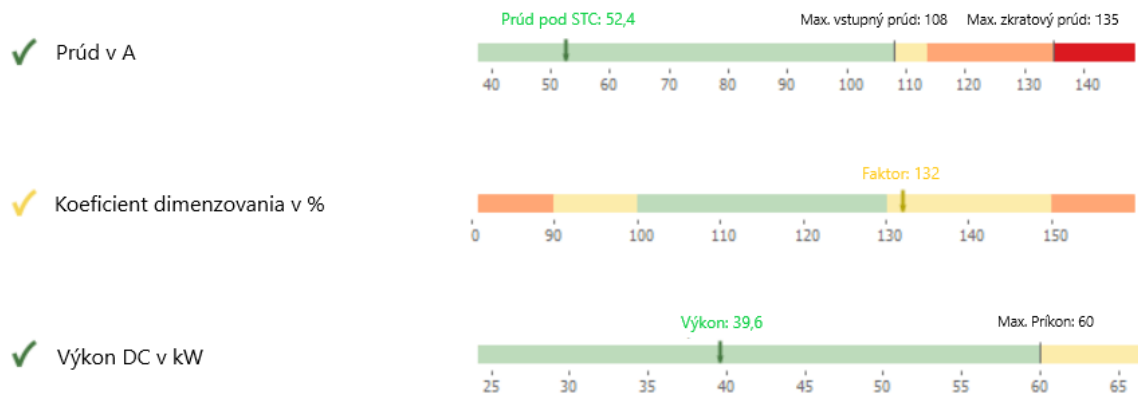
$$n_{string} = \frac{I_{MPP_{max}}}{I_{string_{max}}} = \frac{36}{13,9} = 2,59 = 2(-)$$

$$I_{SC_{max}} = n_{string} * I_{string_{max}} = 2 * 13,9 = 27,8A$$

Výsledky simulácie v programe PV sole



Obr. 3.10: Výsledky pre jeden MPPT vstup



Obr. 3.11: Výsledky pre menič

Pre porovnanie môžeme pozorovať, že naše hodnoty sú totožné ako v simulácii, tak aj vo výpočtoch. Všetky hodnoty sú v medziach, až na koeficient dimenzovania, ktorý je mimo zóny. To nám ale vôbec neprekáča, keďže sa jedná o prevedenia východ/zapád a podľa obrázku č.2.17 tak hodnota 1,32 nie je veľká výchylka od

hodnoty 1,3. Taktiež nie sú predpokladané dobré svetelné podmienky vzhľadom k lokalite.

Výpočty ochrany DC strany

Pri poistkových odpínačoch je treba, aby spínanie + a - bolo naraz ako jedno zariadenie. Ak je spínanie + a - oddelene, treba za ne zapojiť odpojovač. Taktiež SPD musia byť bez určenia polarity.

Podľa školiaceho videa od spoločnosti Eaton na platforme youtube, boli nasledovne vyhotovené výpočty pre návrh menovitého prúdu nadprúdovej ochrany, podľa nasledujúceho vzorca:[32]

$$I_{NOCPD} = 1,25 * I_{SC} = 1,25 * 13,9 = 17,38A \quad (3.1)$$

Kde:

- I_{NOCPD} - Menovitá minimálna hodnota nadprúdovej ochrany
- I_{SC} - Skratový prúd FV modulu pri podmienkach STC
- 1,25 - Bezpečnostný koeficient podľa normy ČSN 33 2000-7-712 príloha B.2

Volíme následne najbližšiu vyššiu nadprúdovú ochranu. V našom prípade sa jedná o poistky PV-20A14F s menovitým prúdom $I_N = 20A$. Následne treba previesť kontrolu, či má daná poistka menšiu hodnotu ako je maximálny dovolený prúd v FV stringu (Max. Series Fuse Rating).[32]

$$I_N < Max.SeriesFuseRating \rightarrow 20A < 25A \quad (3.2)$$

Kde:

- I_N - Menovitý prúd nadprúdovej ochrany
- $Max.SeriesFuseRating$ - Max. Hodnota prúdu v jednom stringu

Prepätová ochrana bola volená s 10% rezervou, ako je ukázané na výpočte:

$$U_{SPD} = 1,1 * U_{OC} * n_{modulov} = 1,1 * 41 * 22 = 992,2 \quad (3.3)$$

Kde:

- SPD - Menovité napätie SPD ochrany
- U_{OC} - Napätie naprázdno FV panelu pri STC
- $n_{modulov}$ - Počet modulov v jednom stringu

Zvolená prepätová ochrana je teda triedy T1+T2 s menovitou hodnotou 1000V.

Záver

V tejto bakalárskej práci bol vypracovaný návrh a realizácia fotovoltaiického systému pre komerčný objekt v Holešove. Hlavným cieľom bolo vytvoriť kompletný projekt fotovoltaiickej elektrárne kategórie A2, ktorý spĺňa požiadavky prevádzkovateľa distribučnej sústavy a maximalizuje využitie vyrobenej energie priamo v mieste výroby. Počas spracovania práce sme sa venovali niekoľkým kľúčovým oblastiam.

V prvej časti sme sa oboznámili s pravidlami pre pripájanie a prevádzku zdrojov s invertormi podľa PPDS a RfG. Tieto pravidlá sú nevyhnutné pre zabezpečenie bezpečnej a spoľahlivej prevádzky elektrizačnej sústavy, a preto je ich dôkladné pochopenie kľúčové pre každý projekt fotovoltaiickej elektrárne. Ďalej sme sa v teoretickej časti zaoberali problematikou FV systémov, ich rozdelením a hlavnými komponentmi FV systému.

V druhej časti sme sa zamerali na návrh fotovoltaiického systému vrátane akumulačného zariadenia. Na základe analýzy miestnych podmienok a spotreby objektu sme vybrali vhodné komponenty a navrhli optimálnu topológiu systému. Pri návrhu sme kládli dôraz na optimalizáciu využitia vyrobenej energie v mieste výroby, čo nebol problém kvôli vysokej spotrebe objektu až 190 MWh ročne v porovnaní s cca výrobou okolo 40MWh ročne z fotovoltaiiky. Týmto sa zabezpečil nielen ekologický prínos, ale aj ekonomická výhodnosť projektu. Všetky simulácie boli robené v programe PVSOL.

Pri návrhu boli použité FV moduly o výkone 450 Wp. Moduly boli nainštalované na streche objektu s optimalizovaným sklonom a orientáciou, aby sa maximalizoval energetický výnos. Použili sme aj optimalizéry Tigo Energy, ktoré zvyšujú energetický výnos a zabezpečujú bezpečnosť systému. Zvolený bol hybridný striedač Solax-X3-Ultra, ktorý umožňuje efektívne riadenie energie medzi fotovoltaiickými modulmi, akumulačným zariadením a spotrebou objektu. Pre akumuláciu energie sme vybrali systém T-BAT-SYS-HV-S22,5, ktorý zabezpečuje dostatočnú kapacitu na pokrytie energetických potrieb objektu počas nedostatku slnečného žiarenia. Taktiež bude slúžiť ako záloha objektu v prípade výpadku. Celkový inštalovaný výkon na streche objektu činí 39,6 kWp s celkovou kapacitou batériového úložiska 46 kWh. Rozloženie FV modulu a ich orientácia a uhol boli vyhotovené v 3D modeli v programe PVSOL, kde bolo aj nesimulované tienenie počas roka a iné parametre.

Ekonomická a energetická analýza preukázala, že návratnosť investície je približne 9 rokov, avšak pri využívaní dotačného programu ktorý je v bakalárskej práci uvedený, dokáže poskytnúť financie až do 572 768 kč. Bez dotačného programu sa predpokladá prvá návratnosť projektu po 12 rokov. Treba však brať ohľad na ďalšie investície, kvôli životnosti hlavne hybridného striedača a batérií, pri ktorých sme predpokladali maximálnu životnosť okolo 15 rokov.

Posledná časť práce bola venovaná spracovaniu projektovej dokumentácie potrebnej pre stavebné povolenie. Táto dokumentácia zahŕňa situačné výkresy, technickú správu, jednopólové schémy, zapojenie rozvádzačov, rozmiestnenie fotovoltických panelov na streche a umiestnenie technológie FVE.

Ekonomická analýza projektu ukázala, že navrhovaný systém je nielen ekologicky prínosný, ale aj ekonomicky výhodný. S využitím dostupných dotácií je návratnosť investície odhadovaná na 8 rokov, bez dotácie okolo 12 rokov, čo potvrdzuje rentabilitu projektu.

Literatura

- [1] Resort Životního Prostředí. Výzva res+ č. 1/2024 – fotovoltaické elektrárny 10 kw – 5 mw s vlastní spotřebou, 2023. [cit. 2024-05-17]. URL: <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/modernizacni-fond/vyzvy/detail-vyzvy/?id=26>.
- [2] Provozovatele distribuční soustavy. Pravidla provozování distribučních soustav, příloha č. 4. pages 22–60, Februar 2022.
- [3] Europská komisia, Brusell. *NARIADENIE KOMISIE (EÚ) 2016/631*, 2016. zo 14. apríla 2016, ktorým sa stanovuje sieťový predpis pre požiadavky na pripojenie výrobcov elektriny do elektrizačnej sústavy. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32016R0631>.
- [4] Bc. Lukáš JÖRKA. Návrh fve s akumulací pro komerční objekt, 2022. [cit. 2023-12-14]. URL: <https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/204829>.
- [5] EG.D.a.s. *Metodika ověření souladu s požadavky RfG pro výrobní moduly typu A2*, 2020. Zkoušky souladu pro synchronní a nesynchronní výrobní moduly podľa europskej smernice RfG. URL: https://www.egd.cz/sites/default/files/2020-12/128_egd_2020_metodika_overeni_souladu_s_pozadavky_rfg_pro_vyrobní_moduly_typu_A2_02.pdf.
- [6] Český normalizační institut. Požadavky na paralelně připojené výrobní s distribučními sítěmi - Část 1: Připojení k distribuční síti nn - výrobní do typu b včetně. Technical Report ČSN EN 50549-1, 8.2019.
- [7] Shah Arifur Rahman, Rajiv K Varma, and Tim Vanderheide. Generalised model of a photovoltaic panel. *IET Renewable Power Generation*, 8(3):217–229, 2014.
- [8] Ph.D. Ing. Kristýna Jandová. Solární energie. Prednáška, 2021. [cit. 2023-12-27]. URL: <https://moodle.vut.cz/course/view.php?id=258494>.
- [9] Bc. Radovan Horváth. Návrh skladby zdroju pro síťovou nezávislost. Diplomová práce, 2016. [cit. 2023-12-27]. URL: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=128810.
- [10] M. A. Green and A. Jain. Fill factor. [cit. 2024-02-14]. URL: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/fill-factor>.
- [11] M. A. Green and A. Jain. Solar cell efficiency. [cit. 2024-02-14]. URL: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/fill-factor>.

- [12] Bařinka Radim Řehák Jaromír, Bártek Jiří. Fotovoltaika a fotovoltaické systémy v podmínkách ČR a jejich navrhování, n.d. [cit. 2023-12-27]. URL: https://www.mpoefekt.cz/dokument/98_8050.pdf.
- [13] Sandra Enkhardt. Frameless glass-glass solar modules made in europe have the best co2 footprint, fraunhofer ise says, Sep 2021. [cit. 2024-02-14]. URL: <https://www.pv-magazine.com/2021/09/24/frameless-glass-glass-solar-modules-made-in-europe-have-the-best-co2-footpri>
- [14] Jiří Maule, Petr; Vaněk. Základní schéma fvs a jeho součásti. Prednáška, prezentacia, 2024. [cit. 2024-02-14]. URL: <https://moodle.vut.cz/course/view.php?id=269455>.
- [15] EKOWATT. CENTRUM PRO OBNOVITELNÉ ZDROJE A ÚSPORY ENER-GIE. Vliv sklonu a orientace, 2006. [cit. 2023-12-27]. URL: <https://fotovoltaika.ekowatt.cz/vliv-sklonu-orientace.php>.
- [16] [cit. 2024-06-01]. URL: <https://www.quest.sk/blog/sklon-orientacia-solarnych-panelov/>.
- [17] Ajay Kumar, Nitin Gupta, and Vikas Gupta. A comprehensive review on grid-tied solar photovoltaic system. *Journal of Green Engineering*, 7(1):213–254, 2017.
- [18] Abdul Ghafoor and Anjum Munir. Design and economics analysis of an off-grid pv system for household electrification. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42:496–502, 2015. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114008296>, doi:10.1016/j.rser.2014.10.012.
- [19] Admin@Hoymiles. Dc coupling vs ac coupling, Aug 2023. [cit. 2023-12-27]. URL: <https://www.hoymiles.com/resources/blog/dc-coupling-vs-ac-coupling/>.
- [20] Petr Mastný. Oze – fotovoltaické systémy a akumulace. Prednáška, 2021. [cit. 2023-12-27]. URL: https://moodle.vut.cz/pluginfile.php/551209/mod_resource/content/0/11_BPC_VEE_2021.pdf.
- [21] Ján Zmrhala. 5. ac a dc coupling, May 2018. [cit. 2023-12-27]. URL: <https://www.easysun.sk/single-post/2018/05/15/5-ac-a-dc-coupling>.
- [22] Amit Kumer Podder, Naruttam Kumar Roy, and Hemanshu Roy Pota. Mppt methods for solar pv systems: a critical review based on tracking nature. *IET Renewable Power Generation*, 13(10):1615–1632, 2019.

- [23] Fotovoltaika - jak fungují optimizery ve fotovoltaické elektrárně. [cit. 2024-01-15]. URL: <https://www.nemakej.cz/jak-funguji-optimizery-ve-fotovoltaicke-elektrarne-o562>.
- [24] Seznam doporučených střídačů eg.d. [cit. 2024-01-15]. URL: <https://www.egd.cz/zadost/nove-pripojeni-mista-s-vyrobnou-do-100-kw>.
- [25] Petr Bača. Úložiště energie. Prednáška, 2022. [cit. 2024-01-15]. URL: <https://moodle.vut.cz/course/view.php?id=258494>.
- [26] Oct 2023. [cit. 2024-01-15]. URL: <https://www.camopo.com/what-are-differences-between-bms-pms-ems/>.
- [27] Ralf Haselhuhn. *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*. Česká fotovoltaická asociace, Plzeň, 1. české vydání, rev. 1 edition, 2017.
- [28] Solar power inverter charger - manufacturer supplier. [cit. 2024-02-14]. URL: http://www.xingdunpower.com/displaynews.html?id=3339424436405056&mdId=com_456.
- [29] Solárne fotovoltaické elektrárne a bleskozvod, Mar 2023. [cit. 2024-02-20]. URL: <https://www.revizie-to.sk/1/solarne-fotovoltaicke-elektrarne-a-bleskozvod/>.
- [30] Tigo Energy. *Příručka k instalaci: Jednotka TS4-A s přístupovým bodem TAP a jednotkou CCA*, 2023. [cit.2023-08-16]. URL: <https://cs.tigoenergy.com/downloads?search=ts4#s-technical-documentation>.
- [31] China oem east west flat roof ballasted solar mounting factory - custom solution. [cit.2023-08-16]. URL: <https://www.landpowersolar.com/east-west-flat-roof-ballasted-solar-mounting>.
- [32] Eaton a.s. Dimenzování jističů a nouzové odpojení v případě požáru 6.2.2024, feb 2024. YouTube, Channel: LPE s.r.o. URL: https://www.youtube.com/watch?v=d00eFHvfqtA&t=2024s&ab_channel=LPEs.r.o.

Seznam symbolů a zkratek

Zkratky:

AC	Striedavý prúd (Alternating current)
CCA	Tigo Cloud Connect Advanced
ČR	Česká republika
ČSN	Česká štátna norma
DC	Jednosmerný prúd (Direct current)
DS	Distribučná sieť
EN	Európska norma
EU	Európska únia
FRT	Preklenutie poklesu napätia (Fault Ride Throught)
FVE	Fotovoltanická výrobná elektrickej energie
HDO	Hromadné diaľkové ovládanie
NN	Nízke napätie
OZE	Obnoviteľné zdroje energie
PS	Prenosová sústava
PDS	Prevádzkovateľ distribučnej siete
PPDS	Pravidlá prevádzkovania distribučnej sústavy
PPS	Prevádzkovateľ prenosovej sústavy
RfG	Requirements for Generation
RoCof	Hodnota zmeny frekvencie (Rate of Change of Frequency)
UVRT	Časový priebeh prechodného sníženia napätia (Undervoltagen Ride Through)
TAP	Tigo gateway
VE	Výrobná elektrickej energie

VN	Vysoké napätie
VM	Výrobný modul
VVN	Veľmi vysoké napätie
ZVN	Zvlášť vysoké napätie

Symboly:

f_{vz}	vzorkovací kmitočet (Hz)
P_{rel}	referenčný činný výkon, ktorý je vzťahnutý k ΔP (W)
ΔP	zmena činného výkonu na výstupe z VM (W)
f_n	menovitá frekvencia ($50 Hz$) v sústave (Hz)
Δf	frekvenčná odchýlka v sústave (Hz)
Δf_1	práhová frekvencia (v ČR je $50,2Hz$) ($50 Hz$)
s_2	Hodnota statiky (v ČR 5%) (%)
a	Výška FV modulu s rámom (mm)
α	Uhol náklonnú panelu oproti horizontálnej polohe ($^\circ$)
β	Uhol náklonnú podkladu ($^\circ$)
γ	Uhol dopadu slnečného žiarenia ($^\circ$)
$U_{max,inv}$	Maximálna hodnota napätia na DC strane inventora (V)
U_{OC}	Napätie naprázdno FV modulu pri STC (V)
β_{OC}	Teplotný koeficient zmeny napätie naprázdno FV modulu ($\%/C^\circ$)
δ_T	Rozdiel teploty STC a teploty v danej oblasti (K)
$U_{OC_{-10C^\circ}}$	Napätie naprázdno FV modulu pri $-10C^\circ$ (V)
$n_{max_{OC}}$	Maximálny počet FV modulov v 1 stringu
β_{MPP}	Teplotný koeficient zmeny napätie v bode MPP FV modulu ($\%/C^\circ$)
γ_{MPP}	Teplotný koeficient zmeny výkonu v bode MPP FV modulu ($\%/C^\circ$)

$U_{MPP+70C^{\circ}}$	Napätie v bode MPP FV modulu pri $+70C^{\circ}$ (V)
α_{MPP}	Teplotný koeficient zmeny prúdu v bode MPP FV modulu ($\%/C^{\circ}$)
α_{sk}	Teplotný koeficient zmeny prúdu nakrátko v bode MPP FV modulu ($\%/C^{\circ}$)
$U_{MPPT_{min}}$	Minimálne pracovné napätie MPPT vstupu (V)
n_{min}	Minimálny počet FV modulov v 1 stringu
$I_{MPP_{max}}$	Maximálny vstupný prúd na 1 MPPT (A)
$I_{sc,inv_{max}}$	Maximálny skratový vstupný prúd na 1 MPPT (A)
$I_{string_{max}}$	Maximálny stringový prúd FV modulu (A)
I_{sc}	Skratový prúd FV modulu pri STC (A)
n_{string}	Maximálny počet stringov
n_{MPPT}	Počet MPPT v inventore
$U_{MPP-10C^{\circ}}$	Napätie v bode MPP FV modulu pri $-10C^{\circ}$ (V)
$n_{max_{MPPT}}$	Maximálny počet FV modulov v stringu podľa MPP
SR	Návrhový faktor inventora
P_{DC}	Menovitý výkon DC strany inventora (W)
P_{AC}	Menovitý výkon AC strany inventora (W)
S	Navrhovaná vzdialenosť od bleskozvodu
k_i	Koeficient triedy LPS (<i>I</i> – 0.08; <i>II</i> – 0.06; <i>III</i> – 0.04; <i>IV</i> – 0.02)
k_m	Koeficient izolácie medzi sústavou a FV modulom
k_c	Koeficient počtu zvodou v bode ($1 = 1$; $2 = 0.66$; $> 2 = 0.44$)
l	Vzdialenosť od najbližšieho uzemneného bodu (m)
I_{NOCPD}	Menovitá minimálna hodnota naprúdovej ochrany (A)
I_N	Menovitá hodnota naprúdovej ochrany (A)
$Max.SeriesFuseRating$	Maximálna hodnota prúdu v jednom stringu (A)

U_{SPD}	Minimálna hodnota SPD ochrany (V)
n_{moduly}	Počet modulov v jednom stringu

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha A – Projektová dokumentácia

A.1 Situácia stavby

C.1 Situácia širších vzťahov

C.2 Celkový situačný výkres

A.2 Dokumenty stavby

Textová časť

D.2.1.1 Technická zapráva

Výkresová časť

D.2.1.2 Jednopolová schéma zapojenia FV

D.2.1.3 Schéma zapojenia AC rozvádzača

D.2.1.4 Schéma zapojenia DC rozvádzača

D.2.1.5 Rozmiestnenie FV modulov na streche + detail konštrukcie

D.2.1.6 Umiestnenie technológie v objekte

Príloha B – Dokumentácia simulácie v programe PV sol

Dokumentácia v programe PV sol

Príloha C – Datasheety od výrobcov

t-bat-sys.hv-s2.5-datasheet-en – Technický list k batériam

cs6l-450ms - Technický list k FV modulom

Tigo zdroj pre CCA - Technický list jednosmerného zdroja

Tigo-TAP s CCA – Technický list k gatewayu a Cloud connect advanced

Tigo-TS4-A-0 - Technický list k optimizérom

UF300_prohlaseni_o_shode – Prehlásenie o zhode sieťovej ochrany

x3-ultra-datasheet-en – Technický list k meniču

Obsah elektronickej prílohy

/.....	Návrh FV elektrarne pre komerčný dom holešov prílohy
└─ Priloha A.....	Projektová dokumentácia
└─ Dokumenty stavby	
└─ D.2.1.1 Technická správa.pdf	
└─ D.2.1.2 Jednopolové schéma zapojenia FV.pdf	
└─ D.2.1.3 Schéma zapojenia AC rozvádzača.pdf	
└─ D.2.1.4 Schéma zapojenia DC rozvádzača.pdf	
└─ D.2.1.5 Rozmiestnenie FV modulov na streche + detail konštrukcie.pdf	
└─ D.2.1.6 Umiestnenie technológie v objekte.pdf	
└─ Situácia stavby	
└─ C.1 Situácia širších vzťahov.pdf	
└─ C.2 Celkový situačný výkres.pdf	
└─ Priloha B.....	Dokumentácia simulácie v programe PV sol
└─ Dokumentácia FV elektrarne v programe PV sol.pdf	
└─ Priloha C.....	Datasheety
└─ t-bat-sys-hv-s2.5-datasheet-en.pdf.....	Batérie
└─ cs61-450ms.pdf.....	FV modul
└─ Tigo zdroj pre CCA.jpg.....	Zdroj k optimizerom
└─ Tigo-TAP s CCA.pdf.....	Príručka k zapojeniu
└─ Tigo-TS4-A-0.pdf.....	Optimizéry
└─ UF300_prohlaseni_o_shode.pdf.....	Sieťová ochrana zhoda
└─ x3-ultra-datasheet-en.pdf.....	Striedač