



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

NÁVRH TECHNICKÉHO PROVEDENÍ FVE VČETNĚ SYSTÉMU ŘÍZENÍ PRO KOMERČNÍ OBJEKT V SOULADU S PLATNÝMI PRAVIDLY PRO PROGRAM ÚSPORY ENERGIE - FVE

PHOTOVOLTAIC SYSTEM PROPOSAL FOR COMMERCIAL BUILDING IN ACCORDANCE WITH
APPLICABLE RULES FOR ENERGY SAVINGS PROGRAM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Daniel Zeman

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

BRNO 2018

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. Daniel Zeman

ID: 168636

Ročník: 2

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

**Návrh technického provedení FVE včetně systému řízení pro komerční objekt
v souladu s platnými pravidly pro program ÚSPORY ENERGIE - FVE**

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Základní analýza dostupných technických řešení
2. Definice pravidel podpůrného programu a sestavení základního konceptu návrhu
3. Návrh systému a ověření řídicích funkcí v laboratoři UEEN
4. Zpracování projektu a zhodnocení doporučených opatření pro jeho provozování
5. Energetická a ekonomická analýza navrženého řešení

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Literatura je stanovena dle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 21.5.2018

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

Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Bibliografická citace práce:

ZEMAN, D. *Návrh technického provedení FVE včetně systému řízení pro komerční objekt v souladu s platnými pravidly pro program úspory energie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 70 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Mastný, PhD.

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

.....

ABSTRAKT

Cílem této práce je navržení hybridního FV systému pro komerční objekt v souladu s pravidly pro možnost čerpání dotace z programu úspory energie v rámci komplexního projektu. V úvodní části práce jsou popsána pravidla z programu týkající se FV části. V další části práce jsou popsána dostupná technická řešení pro realizaci návrhu FV systému a možnosti akumulace elektrické energie v těchto systémech, jak naložit s přebytky energií při využití regulátoru toku výkonu a jaké jsou jeho negativní vlivy na distribuční síť při spínání připojené zátěže. V další části je proveden návrh FV systému dle platných předpokladů popsaných v teoretické části práce. Ověřeno chování regulátoru toku výkonu a výsledky měření v laboratořích UEEN. V poslední části práce je provedeno ekonomické vyhodnocení navrženého systému.

KLÍČOVÁ SLOVA: Fotovoltaický systém; Návrh FV systému; Akumulace elektrické energie ve FV systémech; Parametry pro výpočet FV systému; FV systém; Hybridní FV systém

ABSTRACT

Main purpose of the thesis is to create proposal of the photovoltaic hybrid system for commercial building in accordance with applicable rules for energy savings program. The introductory part of the thesis describes the rules regarding the photovoltaic system parts. The next part of the thesis describes the available technical solution for realization of the photovoltaic system design and the possibilities of electric energy accumulation in these systems and how to deal with power overflows using the power flow controller and what is the negative impacts on the distribution network when switching the connected load. In the next part the design of the PV system is carried out according to the valid assumptions described in the theoretical part of the thesis. Verification of power flow controller and measurement results in UEEN laboratories. The last part of the thesis is an evaluation of the economic part of the proposed system.

KEY WORDS:

photovoltaic power plant; proposal of PV power plant; Battery storage in PV systems; parameters for calculating in PV systems; hybrid PV power plant; energy and financial analysis

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	8
SEZNAM TABULEK	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	11
ZKRATKY A SYMBOLY	11
VELIČINY A JEDNOTKY	12
ÚVOD	13
1 PODPORA PRO PODNIKATELE	14
2 ZÁKLADNÍ ANALÝZA DOSTUPNÝCH TECHNICKÝCH ŘEŠENÍ	15
2.1 FOTOVOLTAICKÉ PANELY	15
2.1.1 BYPASSOVÁ DIODA	17
2.1.2 VZNIK HORKÝCH MÍST	17
2.1.3 ČINITEL PLNĚNÍ (FILL FACTOR)	17
2.1.4 ÚČINNOST FV ČLÁNKU	18
2.1.5 MATERIÁLY FV ČLÁNKŮ V PANELECH	18
2.2 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ FV SYSTÉMŮ.....	19
2.2.1 OFF-GRID SYSTÉMY	19
2.2.2 ON-GRID SYSTÉMY	20
2.2.3 TOPOLOGIE ON-GRID SYSTÉMŮ	22
2.3 AC vs. DC COUPLING	24
2.4 INVERTORY	26
2.4.1 SÍŤOVÉ INVERTORY	26
2.4.2 HYBRIDNÍ INVERTORY	27
2.4.3 MPPT	27
2.4.4 METODY MPPT	28
2.4.5 ÚČINNOST KONVERZE INVERTORŮ PRACUJÍCÍCH SE SÍTÍ	29
2.4.6 SLEDOVACÍ ÚČINNOST INVERTORŮ	30
2.4.7 EVROPSKÁ ÚČINNOST STRÍDAČE	30
3 AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE VE FV APLIKACÍCH	30
3.1 FUNKCE BATERÍ VE FV SYSTÉMECH	31
3.2 TYPY BATERÍ.....	31
3.2.1 OLOVĚNÉ BATERIE.....	31
3.2.2 NI-CD BATERIE	32
3.2.3 NI-MH BATERIE	32
3.2.4 LITHIUM-IONTOVÉ BATERIE.....	32
3.2.5 LITHIUM-POLYMEROVÉ BATERIE	32
3.3 PARAMETRY BATERÍ.....	33
3.3.1 KAPACITA BATERIE.....	33
3.3.2 NAPĚTÍ BATERIE	33
3.3.3 HLoubKA VYBITÍ (DoD)	33
3.3.4 ŽIVOTNOST BATERIE	34
3.3.5 MÍRA NABITÍ NEBO VYBITÍ (C-RATING).....	34
3.3.6 SAMOVYBÍJENÍ BATERÍ	34
4 TYPOVÉ DENNÍ DIAGRAMY TDD	35
5 PŘEBYTKY VE FV SYSTÉMECH.....	36

5.1 REGULÁTORY TOKU VÝKONU	36
6 VÝPOČTY PARAMETRŮ PRO FV SYSTÉMY	38
6.1 VÝPOČET INTENZITY SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ NA HORIZONTÁLNÍM POVRCHU	38
6.2 ZASTÍNĚNÍ FV PANELŮ	41
6.3 PŘEPOČET PARAMETRŮ FV PANELŮ DLE TEPLoty	42
6.3.1 MAXIMÁLNÍ NAPĚTÍ PANELU	42
6.3.2 MINIMÁLNÍ NAPĚTÍ PANELU	42
6.3.3 MAXIMÁLNÍ ZKRATOVÝ PROUD.....	42
6.3.4 MAXIMÁLNÍ POČET PANELŮ VE STRINGU	43
6.3.5 MINIMÁLNÍ POČET PANELŮ VE STRINGU.....	43
6.3.6 OPTIMÁLNÍ POČET PANELŮ VE STRINGU	43
6.3.7 POČET STRINGŮ	44
6.3.8 POČET STRÍDAČŮ	44
6.3.9 ZTRÁTY NA DC KABELECH.....	44
7 NÁVRH FV SYSTÉMU.....	45
7.1 POPIS A ORIENTACE BUDOVY	45
7.2 DEFINICE SPOTŘEBY OBJEKTU.....	46
7.3 DEFINOVÁNÍ VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE V LOKALITĚ	48
7.4 VÝPOČET PRVKŮ SYSTÉMU	49
7.5 DETAILNÍ PŘEHLED VÝROBY A SPOTŘEBY	50
7.6 JEDNOPÓLOVÉ SCHÉMA NAVRŽENÉHO SYSTÉMU.....	51
8 OVĚŘENÍ ČINNOSTI REGULÁTORU TOKU VÝKONU	56
8.1 VÝSLEDKY MĚŘENÍ	57
8.2 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ.....	58
8.3 PODMÍNKY PDS.....	58
9 EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ NÁVRHU.....	59
10 ZÁVĚR.....	61
POUŽITÁ LITERATURA	63
PŘÍLOHY	65
PŮDORYS OBJEKTU V PROSTŘEDÍ AUTOCAD.....	65
FV PANELY JINKO EAGLES	66
STRÍDAČ SUNNYBOY3000TL-21	67
HYBRIDNÍ STRÍDAČ SUNNY ISLAND 6.0 H	68
SUNNY HOME MANAGER 2.0.....	69
BMZ BATERIE	70

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2-1 Znáznornění solárního článku, panelu a FV pole</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 2-2 I-V charakteristika FV panelu při změně intenzity slunečního záření.....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 2-3 I-V charakteristika FV panelu při změně teploty.....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 2-4 Sériově-paralelní spojení FV panelů.....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 2-5 Off-grid systémy.....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 2-6 Spotřebitelský systém.....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 2-7 Hybridní systém</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 2-8 Distribuční systémy.....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 2-9 Topologie zapojení on-grid systémů [5].....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 2-10 DC coupling [6].....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 2-11 AC coupling [6].....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 2-12 blokové schéma invertoru s transformátorem [7]</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 2-13 blokové schéma invertoru bez transformátoru [7]</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 2-14 Metoda P&O s MPPT pomalé změny atmosférických podmínek [9].....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 2-15 Metoda P&O s MPPT rychlé změny atmosférických podmínek [9].....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 2-16 Metoda přírůstkové vodivosti (IC) [10].....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 3-1 Grafické znázornění životnosti olověných baterií [13]</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 5-1 Příklad třífázového zapojení s vyvedením signálu pro NT pro režim CombiWatt [15] ..</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 6-1 Azimutový úhel a úhel výšky slunce [14]</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 6-2 Úhel odklonu slunce [14]</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 6-3 Globální sluneční záření a jeho složky [15]</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 7-1 Orientace budovy.....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 7-2 Grafické znázornění spotřeby objektu během dne</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 7-3 Grafické znázornění odhadované spotřeby elektrické energie.....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 7-4 Grafické znázornění dopadajícího slunečního záření na nakloněnou rovinu</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 7-5 Grafické znázornění dopadajícího slunečního záření na horizontální rovinu</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 7-6 Grafické znázornění výroby a spotřeby</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 7-7 Detailní přehled výroby a spotřeby</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 7-8 Jednopolové schéma navrhovaného FV systému.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 7-9 Vstupy programu MATLAB</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 7-10 Schéma připojení bateriového systému</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 7-11 Porovnání systému bez optimalizace a s optimalizací vlastní spotřeby</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 7-12 Porovnání vlastní spotřeby a odběru ze sítě.....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 7-13 Znáznornění přebytků elektrické energie</i>	<i>55</i>

<i>Obr. 8-1 Schéma zapojení pro měření na wattrouteru.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 8-2 Výsledky měření na wattrouteru při jmenovitém výkonu střídače.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 8-3 Výsledky měření na wattrouteru při 50 % jmenovitém výkonu střídače</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 9-1 Efektivní úspora investice po dobu 20 let.....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 9-2 Porovnání nákladů na el. energii</i>	<i>60</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 2-1 Srovnání jednotlivých typů fotovoltaických článků [13]</i>	19
<i>Tab. 3-1 Srovnání jednotlivých typů bateriových článků [12]</i>	33
<i>Tab. 7-1 Definování výpočtového výkonu spotřebičů</i>	46
<i>Tab. 7-2 Odhadované ztráty systému</i>	49
<i>Tab. 7-3 shrnutí parametrů návrhu</i>	53
<i>Tab. 9-1 Ceny prvků systému</i>	59

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky a symboly

FVE	Fotovoltaická elektrárna
FV	Fotovoltaická/ý
OZE	Obnovitelné/ý zdroj energie
KVET	Kombinovaná výroba elektrické energie
LTO	Lehké topné oleje
TTO	Těžké topné oleje
DC	Stejnoseměrný
AC	Střídavý
TUV	Teplá užitková voda
DS	Distribuční soustava/síť
MPPT	Sledovač bodu maximálního výkonu
MPP	Bod maximálního výkonu
DoD	Hloubka vybití
SoC	Stav nabití baterie
PI	Proporcionálně integrační regulátor
NN	Nízké napětí
VN	Vysoké napětí
AC	Střídavý proud
SSR	Solid state relé
PWR	Pulsně šířková regulace
EMS	Energy management systém (Systém pro energetickou správu)
STC	Standartní testovací podmínky
PDS	Provozovatel distribuční soustavy
PPDS	Podmínky provozu distribučních soustav

Veličiny a jednotky

Veličina:	Název:	Jednotka:
c	Vzdálenost mezi řadami panelů	[m]
U_{DCmax}	Maximální napětí panelu	[V]
U_{DCmin}	Minimální napětí panelu	[V]
I_{DCmax}	Maximální proud panelu	[A]
n_{max}	Maximální počet panelů ve stringu	[-]
n_{min}	Minimální počet panelů na vstup střídače	[-]
n_{OPT}	Navrhovaný počet panelů	[-]
n_{STR}	Počet stringů na vstup střídače	[-]
n_{INV}	Počet střídačů	[-]
P_{zDC}	Ztráty na DC kabelech	[W]
P_S	Skutečný výkon	[kW]
I_B	Proud hl. jistícího prvku	[A]
β	Soudobost skupiny spotřebičů	[-]
P_i	Instalovaný výkon	[kW]
U_{Nf}	Jmenovité fázové napětí	[V]
$\cos\varphi$	Účinník	[-]
ρ	Rezistivita materiálu	$[\Omega \cdot mm^2 \cdot m^{-1}]$
l	Délka vodiče	[m]
S	Průřez vodiče	$[mm^2]$
P_{iFV}	Jmenovitý špičkový výkon FV systému	[Wp]
P_{mppMOD}	Jmenovitý výkon střídače	[W]
I_{DCmax}	Maximální stejnosměrný proud procházející vodičem	[A]
I_{SC}	Proud nakrátko panelu	[A]
U_{mpp}	Napětí v bodě maximálního výkonu	[V]
ΔT	Rozdíl teplot	[°C]
U_{OC}	Napětí naprázdno panelu	[V]
C_{Ah}	Kapacita baterie	[Ah]
C_{Wh}	Kapacita baterie	[Wh]

ÚVOD

Obnovitelné zdroje energie, někdy také obnovitelná energie jsou odborné termíny pro energetické zdroje jako je například geotermální, větrná, vodní, sluneční energie, energie vln a dalších zdrojů, které svou energii obnovují přirozeným koloběhem, jako například působením gravitace měsíce, která má vliv na příliv a odliv mořské vody, nebo také nejznámější zdroj energie, kterým je slunce.

Za poslední desetiletí energie vyráběna ze solárních technologií vzrostla natolik, že v prosinci 2010 bylo generováno těmito zdroji dohromady přes 40 GW elektrické energie, z nichž 85 % bylo odváděno do sítě. To je indikátor toho, že za poslední desetiletí rapidně vzrostl počet výroben elektrické energie pomocí solární přeměny ze slunečního záření.

Jednou z výzev, které čelí vyrábění energie pomocí přeměny slunečního záření je cena komponentů, které jsou k této funkci potřeba. Naštěstí cena komponentů byla v posledních letech značně redukována, protože se zvýšil zájem o tento zdroj energie ať už zájem široké veřejnosti, nebo zájem vládních stran. Ekonomická redukce velkého rozsahu snížila náklady spojené s výrobou solárních článků, fotovoltaických panelů a střídačů. Také značný vliv na cenu fotovoltaických komponent mělo zvýšení poptávky, které vedlo k investicím firem do vývoje technologických postupů a řešení, které se zabývaly výrobou těchto komponentů, ke zvýšení účinnosti výroby a snížením nákladů na výrobu a také začaly solární články vyrábět ve větších množstvích tak, aby uspokojily poptávku.

První invertory, které se objevovaly na trhu byly často nekompatibilní, nebo bylo složité je integrovat do systémů. Invertory také trpěly špatnou účinností konverze elektrické energie ze stejnosměrného charakteru na střídavý. Účinnost inverterů, byla v začátcích také mizerná, protože cena za jeden Watt elektrické energie vyrobené z fotovoltaického systému (panelu) byla přibližně 15\$ a 1-2 % změna v účinnosti inverteru mohla navýšit celkovou investici o 10 % původní ceny celého systému. Pokročilá technologie inverterů byla potřeba k tomu, aby dovedla tento obnovitelný zdroj energie do jeho plného potenciálu. Ceny spojené s křemíkovými polovodiči a dalšími součástmi se výrazně snížily. Ve výzkumných centrech se zabývají především zvyšování účinnosti fotovoltaických inverterů.

Vzhledem ke zvýšení poptávky po fotovoltaických panelech, či systémech v posledních letech je zřejmé, že se energetické potřeby, zejména elektrické energie zvyšují a vzhledem k přírodě a životu na zemi jako takového je potřeba neustále zvyšovat, zdokonalovat a prosazovat získávání elektrické energie z obnovitelných zdrojů.

1 PODPORA PRO PODNIKATELE

V rámci podpory podnikatelů byl založen podpůrný Operační program pro služby a inovace pro konkurenceschopnost, z kterého lze v rámci výzev čerpat dotace na jímž nabízené služby. Dotační období je stanoveno v letech 2014–2020. Celkem si mezi sebe projekty rozdělí 120 mld. Kč. V rámci energetiky je možno čerpat dotace z programu Úspory energie [1].

Dotační program Úspory energie, který jako obor podnikání zahrnuje energetiku a další obory zahrnuje možnost dotační podpory od 500 tis. – 400 mil. Kč. Účelem tohoto dotačního programu je podpořit taková opatření, které přispívají k úspoře konečné spotřeby energie.

Zde jsou uvedeny informace z výzvy č.3 tohoto programu, týkající se Fotovoltaických elektráren a akumulace energie [2].

Podporovanými aktivitami v rámci výzvy jsou:

- Instalace OZE pro vlastní spotřebu podniku (využití biomasy, solární systémy, tepelná čerpadla a fotovoltaické systémy).
- Instalace akumulace elektrické energie (akumulátor musí být provozován v energetickém hospodářství, které má vlastní zdroj elektrické energie z OZE (např. FVE), nebo z KVET (mimo uhlí, LTO, TTO).

Projekt musí naplňovat následující indikátory:

- Maximální možný instalovaný výkon fotovoltaického systému je 100 kWp, který musí být umístěn na střešní konstrukci nebo na obvodové zdi jedné budovy spojené se zemí pevným základem evidované v katastru nemovitostí.
- Maximální roční výroba elektřiny z vysokoúčinné KVET by neměla být vyšší než roční spotřeba elektřiny příslušného podniku.
- Nelze realizovat samostatnou instalaci akumulace elektrické energie nebo FVE s akumulací elektrické energie jako samostatné opatření.

Specifické podmínky programu a výzvy jsou následující:

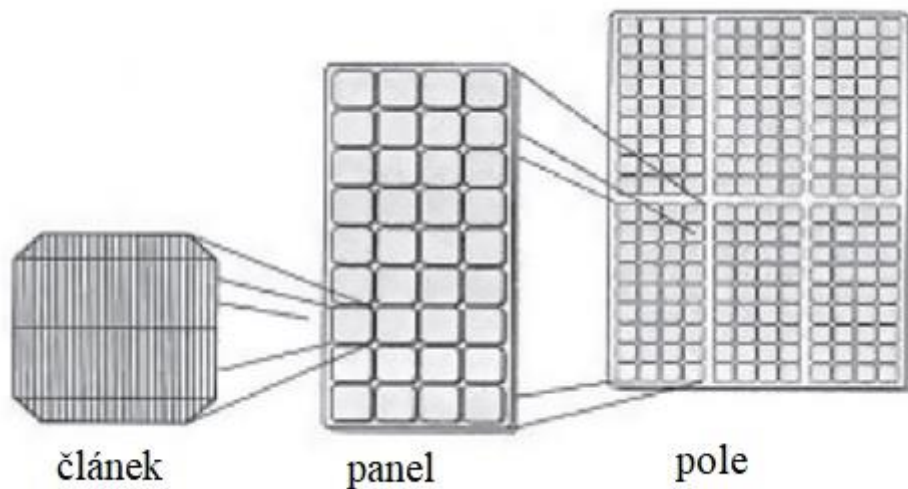
- V případě, že výroba elektřiny z KVET a fotovoltaických systémů je připojena do přenosové nebo distribuční soustavy nesmí dodat do přenosové nebo distribuční soustavy více než dvacet procent ročního množství elektřiny vyrobené v jím provozované výrobně elektřiny, sníženého o technologickou vlastní spotřebu elektřiny.
- Modernizace soustav osvětlení budov a průmyslových areálů a instalace fotovoltaického systému bude podpořena pouze v případě, že bude součástí komplexního projektu, nikoliv jako samostatné opatření.
- Instalace samostatného fotovoltaického systému se nepovažuje v rámci výzvy za komplexní projekt.

Cílovou skupinou pro využití v rámci podpůrného programu Úspory energie jsou malé a střední podniky a velké podniky.

2 ZÁKLADNÍ ANALÝZA DOSTUPNÝCH TECHNICKÝCH ŘEŠENÍ

2.1 Fotovoltaické panely

Fotovoltaické panely jsou tvořeny spojením solárních článků do série. Počet fotovoltaických článků zapojených v sérii udává výsledné napětí fotovoltaického panelu. Napětí na jednom fotovoltaickém článku se pohybuje okolo 0,5 V. Jako příklad pro 12 V panel je použito spojení 33 nebo 36 článků do série. V dnešní době se používá převážně spojení od 72 do 76 článků v sérii, což dává napětí naprázdno článku okolo 36 V. Články jsou umístěny v pevném, průhledném, vzduchotěsném krytu [13].



Obr. 2-1 Znárodnění solárního článku, panelu a FV pole

Vztah mezi napětím článku (U_C), proudem článku (I_C) a napětím FV panelu (U_M) a proudem panelu (I_M) je dán podle následujících vztahů [14]:

$$I_M = N_{pM} \cdot I_C \quad (A; -, A) \quad (2.1)$$

$$U_M = N_{sM} \cdot U_C \quad (V; -, V) \quad (2.2)$$

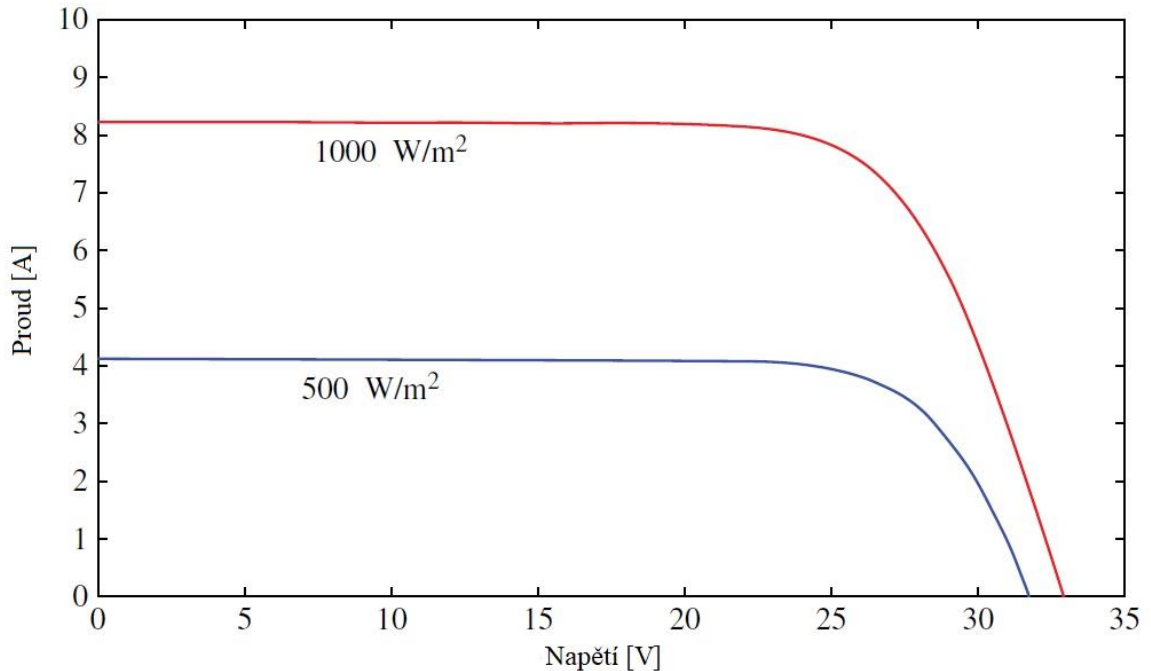
$$R_{sM} = \frac{N_{sM}}{N_{pM}} \cdot R_{sC}(\Omega; -, -, \Omega) \quad (2.3)$$

- Kde:
- N_{sM} – Počet článků v sérii
 - N_{pM} – Počet článků řazených paralelně
 - R_{sM} – Ekvivalentní sériový odpor FV panelu
 - R_{sC} – Sériový odpor FV článku

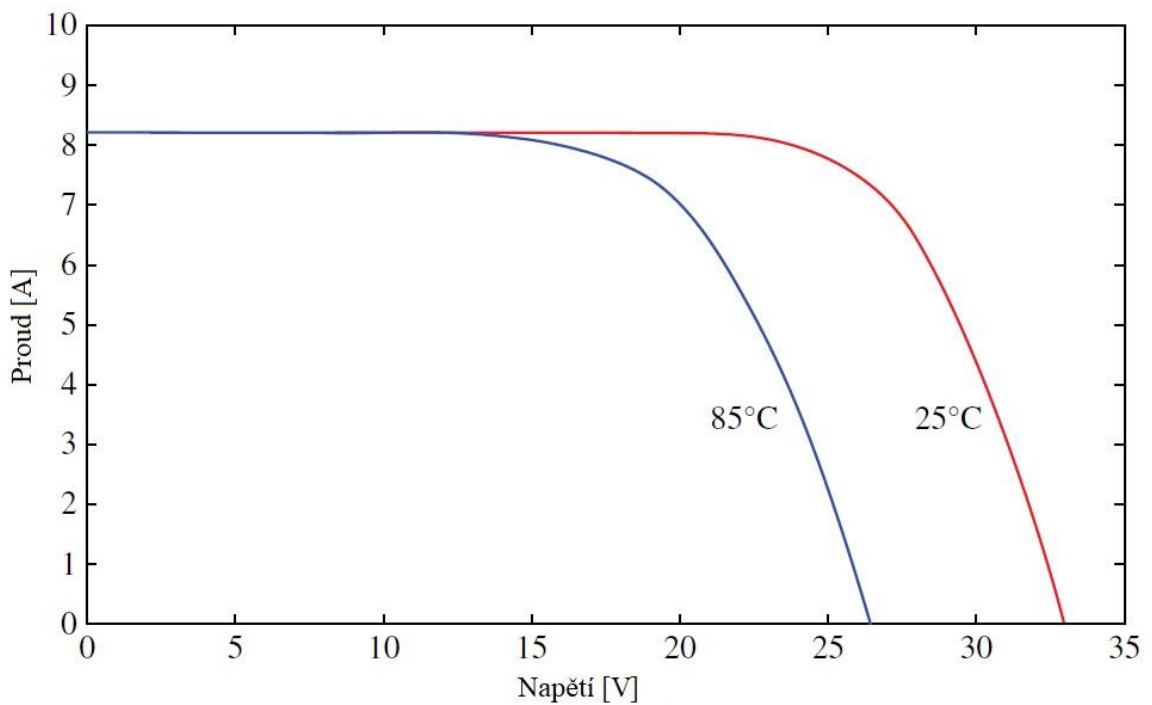
Výkon FV panelu silně závisí na intenzitě slunečního záření. Standartní hodnota intenzity slunečního záření za jasného dne je dána na 1000 W/m^2 což se také někdy nazývá jako hodnota

jednoho slunce. Pokud bude intenzita slunečního záření menší, než je jedno slunce, dochází k poklesu generovaného proudu, a tudíž k poklesu výkonu FV panelu, jak je naznačeno na obr.2-2.

Změna teploty má vliv na výstupní napětí FV článku, při vysokých teplotách je generované napětí snižováno v rozmezí 0,04 – 0,1 V na každý 1 °C, jak je znázorněno na obr.2-3.



Obr. 2-2 I-V charakteristika FV panelu při změně intenzity slunečního záření



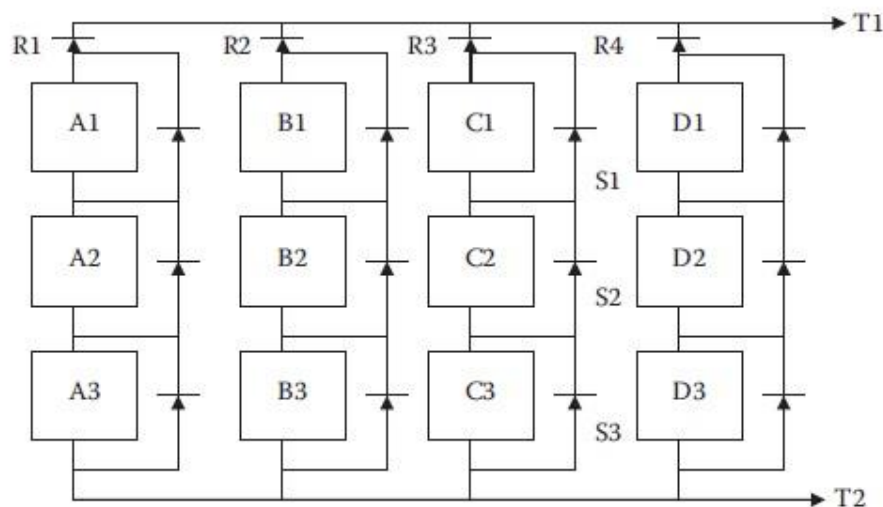
Obr. 2-3 I-V charakteristika FV panelu při změně teploty

FV panely mohou být spojovány sériově, paralelně a sérioparalelně tak, aby bylo možné formovat FV pole a zvýšit tak generované napětí nebo proud. Pro zvýšení generovaného proudu se FV panely zapojují paralelně.

Pokud je FV pole připojeno k bateriovému úložišti, může se v nočních hodinách vyskytnout zpětný proud do panelů z baterie. Jako prevence tohoto zpětného toku se používají blokovací diody, které zabraňují tomuto zpětnému toku. Protože diody mohou způsobit pokles napětí, některé systémy používají ovládací, které otevře obvod, namísto toho, aby byla použita blokovací dioda.

2.1.1 Bypassová dioda

Pokud dojde z nějakého důvodu k poškození článků FV panelu, nebo k částečnému zastínění jednoho panelu, dochází k omezení proudu v celém stringu a tím ke snížení výkonu FV pole, protože celý string je tak silný, jako jeho nejslabší článek. Pro tyto účely se u FV panelů používají bypassové diody, které umožňují průchodu proudu obejít tuto poškozeno, nebo zastíněnou část FV panelu a tímto nedojde k omezení výkonu. Pro demonstraci na obr. 3-3, pokud dojde k selhání panelu C2, potom proud generovaný C1 a C3 projde bypassovou diodou S2.



Obr. 2-4 Sériově-paralelní spojení FV panelů

2.1.2 Vznik horkých míst

Fotovoltaický panel obsahuje velký počet článků zapojených do série. To znamená, že pokud jeden z článků je zastíněn a ostatní zastíněny nejsou a panel je připojen k velké zátěži, potom proud z nezastíněných článků způsobuje tepelné ztráty $I^2 \cdot R$ v zastíněných člancích. Tím pádem, zastíněné buňky mají vyšší odpor [13].

2.1.3 Činitel plnění (Fill Factor)

Činitel plnění vyjadřuje špičkový výkon ku napětí naprázdno a proudu nakrátko.

$$FF = \frac{U_{mp} \cdot I_{mp}}{U_{OC} \cdot I_{SC}} \quad (-; V, A) \quad (2.4)$$

- Kde:
- U_{mp} – Napětí při bodu maximálního výkonu
 - I_{mp} – Proud při bodu maximálního výkonu
 - U_{OC} – Napětí naprázdno
 - I_{SC} – Proud nakrátko

Maximální výkon je poté:

$$P_m = U_{OC} \cdot I_{SC} \cdot FF(W; V, A, -) \quad (2.5)$$

P_m můžeme také vypočítat jako:

$$P_m = S \cdot E \left(W; m^2, \frac{W}{m^2} \right) \quad (2.6)$$

Kde: S – Oblast solárních článků
 E – Dopadající sluneční záření

Poté účinnost je dána jako:

$$\eta = \frac{U_{OC} \cdot I_{SC} \cdot FF}{S \cdot E} (-; V, A) \quad (2.7)$$

Hodnota činitele plnění se obvykle pohybuje mezi 0,7 až 0,8.

2.1.4 Účinnost FV článku

Účinnost solárního článku je poměr výstupního výkonu článku nebo pole článků k celkovému množství slunečního záření dopadeného na jejich plochu. Maximální teoretická účinnost solárního článku může být 47 %. U solárních panelů je účinnost mnohem nižší a jeden z faktorů proč tomu tak je jsou např. větší rozestupy mezi jednotlivými články.

2.1.5 Materiály FV článků v panelech

Většina fotovoltaických článků, které jsou dnes používány ve FV panelech jsou polovodičového typu. Základní rozdělení je na obr. 3-3.




Fotovoltaické panely z monokrystalu využívají převážně přímého slunečního záření, to znamená, že mají vyšší účinnost, ale zase nedokáží využít téměř žádného difuzního záření, které přichází ze slunce a před dopadem je odraženo k FV panelu. Toto je dáno technologií výroby, kdy polovodičová vrstva a její krystalová mřížka je uspořádána a na povrchu téměř hladká, tudíž se dají mnohem lépe využít fotony, které dopadají přímo.

Polykrystalické panely mají nižší účinnost, než je tomu u monokrystalických, ale dokáží využít větší část difuzního záření na ně dopadajícího. Polovodičová vrstva a její krystalická mřížka tvoří na povrchu malé výstupky, které lépe pohlcují odražené fotony.

Tenkovrstvé články jsou tvořeny neuspořádanou krystalovou mřížkou. Jsou také flexibilní, dokáží nejlépe ze všech uvedených typů pohlcovat odražené fotony. Toto také způsobuje nejnižší účinnost ze všech výše uvedených.

Materiál solárních článků, hraje také roli při výběru a návrhu instalace, kdy například pro instalaci na rovnou zeď rodinného domu je dosaženo vyšších výkonů při použití tenkovrstvých článků, než kdyby byly použity jiné materiály, a to i přes nižší účinnost. To je právě způsobeno tím, že dokáží lépe využít právě odražené fotony.

Tab. 2-1 Srovnání jednotlivých typů fotovoltaických článků [13]

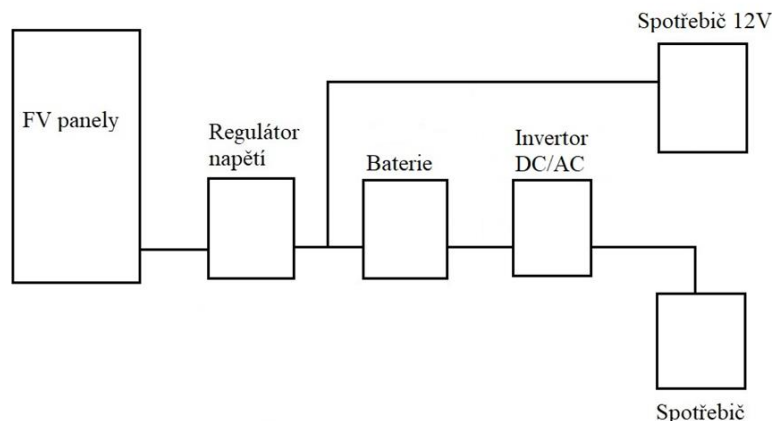
Typ článku	Monokrystalický panel	Polykrystalický panel	Tenkovrstvý
Typ			
Životnost panelu	25-30 let	20-25 let	15-20 let
Teplotní tolerance	0 až + 5 %	-5 až + 5 %	-3 až + 3 %
Účinnost	12 % až 17 %	10 % až 15 %	8 % až 10 %

2.2 Základní rozdělení FV systémů

2.2.1 Off-grid systémy

První základní způsob zapojení FV elektráren, je systém tzv. „off-grid“. Tento systém zapojení znamená, že fotovoltaická elektrárna se všemi jejími komponenty není nijak spojena s distribuční sítí. Používá se zejména tam, kde není možnost připojení objektu spotřeby k distribuční síti. Způsob zapojení svým způsobem slouží k tomu, že veškerá energie vyrobená pomocí tohoto systému, je spotřebována přímo v objektu. U těchto systémů se převážně využívá akumulace vyrobené elektrické energie ať už do Olova nebo Lithia [3].

Systémy „off-grid“ také hojně využívají v zemích Afrického kontinentu, kde je větší přísun slunečního světla během dne a tím pádem vyšší využitelnost přeměny slunečního záření na elektrickou energii a je v těchto lokalitách buď omezené množství elektrické energie distribuované přes distribuční síť, nebo jsou objekty nově vystavěny v lokalitách různých humanitárních pomoci, kde je třeba dodat např. k ošetření pacientů elektrickou energii. Jelikož samotná výroba pomocí FV panelů je vysoce závislá na kvalitě počasí a podnebí, používá se právě akumulátorů k uložení elektrické energie vyrobené přes den pro využití této energie právě v noci, kdy je výroba takřka nulová. Pro stabilní dodávku elektrické energie během noci, je potřeba také záložní zdroj, v tomto případě se využívají diesel generátory, které slouží jako záloha tohoto systému. Základními komponenty tohoto systému jsou tedy FV panely, invertory, akumulátory, záložní zdroje, jako je např. diesel agregát apod.



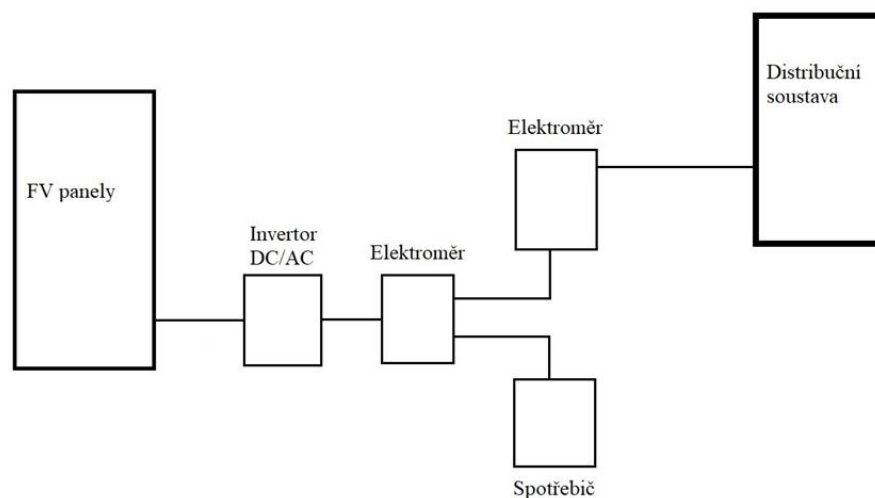
Obr. 2-5 Off-grid systémy

2.2.2 On-grid systémy

Systémy spojené se sítí jsou komercializovány v mnoha zemích pro jejich nespočet výhod jako jsou například nízké provozní náklady, náklady na údržbu, šetrnost k životnímu prostředí při výrobě elektrické energie a také byly v mnoha zemích podporovány různými finančními prostředky. V ČR byla pro zvýšení objemu tohoto typu zdrojů zavedena garantovaná výkupní cena mezi lety 2008-2013 nebo zelený bonus, kdy si mohl provozovatel zvolit jednu z těchto variant výkupu. Od roku 2013 jsou u nás dostupné pouze dotační programy, jako je například zelená úsporám, přičemž je třeba splnit podmínky těchto dotačních programů, které jsou dány legislativou příslušného programu [4].

- **ON-GRID spotřebitelský systém**

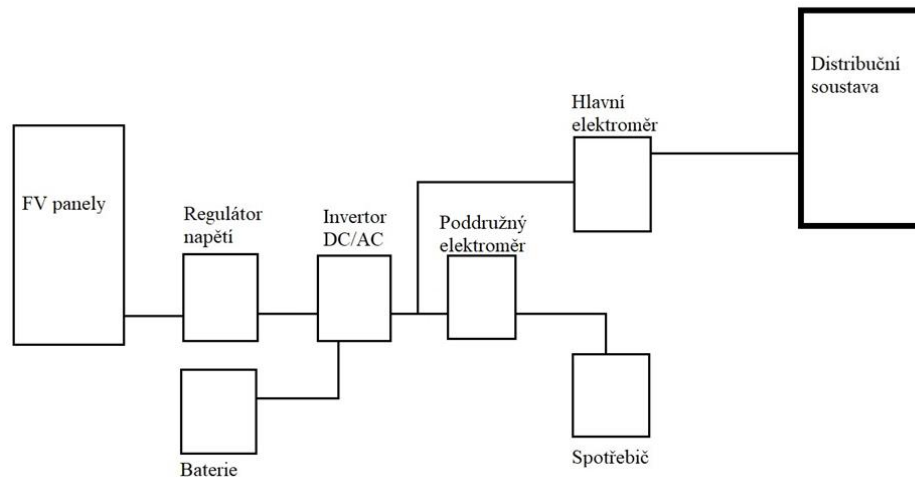
Prioritou tohoto systému je výroba a dodávka elektrického proudu, který je určen pro vlastní spotřebu. Přebytky z výroby elektrické energie, které není schopen daný objekt spotřebovat jsou dodávány do sítě a výrobce získává úhrady za každou kWh vyrobené elektrické energie.



Obr. 2-6 Spotřebitelský systém

- **ON-GRID hybridní systém**

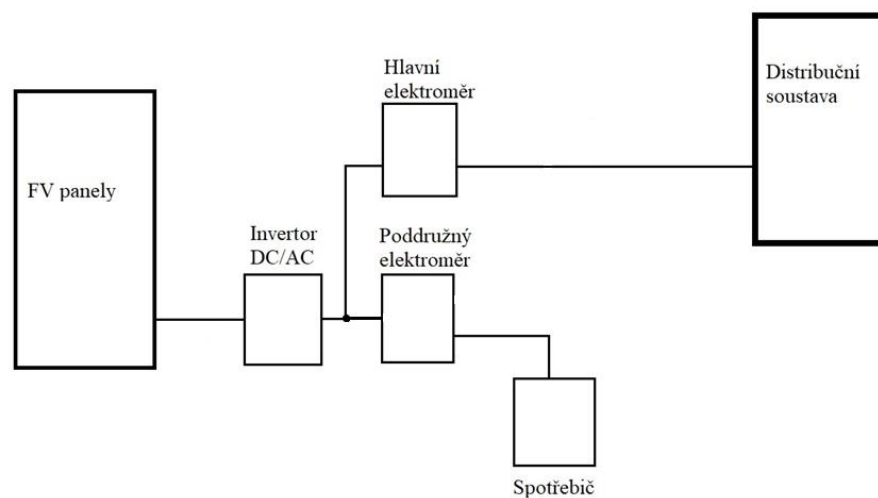
Hybridní fotovoltaický systém je konstruován tak, aby veškerá elektrická energie vyrobená tímto systémem byla spotřebována. Nedílnou součástí hybridního FV systému jsou bateriová úložiště. Při plném nabití baterií je elektrická energie směřována ke spotřebě u prioritních spotřebičů jako je například el. Vytápění či příprava TUV. V případě schváleného připojení k DS je investorovi umožněno přebytky energie dodávat do DS.



Obr. 2-7 Hybridní systém

- **ON-GRID distribuční systém**

Do této kategorie patří především FV elektrárny velkých rozsahů, FV farmy, od 100kWp a výše, které jsou primárně určeny k výrobě elektrické energie a její dodávce do DS.



Obr. 2-8 Distribuční systémy

2.2.3 Topologie ON-GRID systémů

FV systémy mají odlišné topologie zapojení inverterů vzhledem k rozsáhlosti daného FV pole [5].

- **Modulární**

Jedná se o hodně rozšířenou topologii. V této topologii, je na každý panel v daném systému jeden vlastní inverter. Výhodou této topologie je snížení výkonových ztrát vzhledem k zastínění FV panelů, lepší monitoring selhání a flexibility jednotlivého pole. Tato topologie se využívá zejména u nízko výkonových aplikací a její cena je relativně vysoká vzhledem k pořizovacím nákladům na každý inverter. Životnost inverterů se také snižuje, neboť je instalován v otevřeném prostoru a působí na něj vnější vlivy a termální zatížení.

- **Multi-string**

V této topologii je každý string připojen k DC-DC konvertoru, aby mohl být sledován bod maximálního výkonu a napěťové zesílení. Všechny DC-DC měniče jsou připojeny k jednomu inverteru přes DC sběrnici. Tato topologie kombinuje výhody stringové a centralizované topologie a také zvyšuje energetický výstup díky samostatnému sledování MPP pomocí centrálního střídače což vede k nižším nákladům. Nicméně spolehlivost systému klesá ve srovnání se stringovou topologií a také se do celkových ztrát systému promítnou ztráty způsobené DC-DC konvertory.

- **Team concept**

Tato topologie je používána pro rozsáhlé FV systémy a kombinuje stringovou technologii s Master-Slave konceptem. Při nižších hodnotách ozáření je celé FV pole připojeno pouze k jednomu inverteru. Se zvyšující se hodnotou ozáření se FV pole rozděluje mezi menší stringy, dokud každý stringový střídač nepracuje v blízkosti jmenovitého výkonu. V tomto režimu pracuje každý string nezávisle s jeho vlastním MPPT.

- **Stringová topologie**

V této topologii je každý string připojen k jednomu vlastnímu inverteru, a tím se rozšiřuje spolehlivost systému. Navíc ztráty způsobené zastíněním jsou také sníženy, protože každý string může pracovat samostatně se svým vlastním MPP. Stringová topologie zvyšuje flexibilitu v návrhu FV systémů, jelikož je možné kdykoliv přidat nový string a tím zvýšit jeho jmenovitý výkon. Obvykle mají jednotlivé stringy výkon kolem 2-3 kW. Hlavní nevýhodou této topologie jsou zvýšené náklady v důsledku zvýšení počtu inverterů.

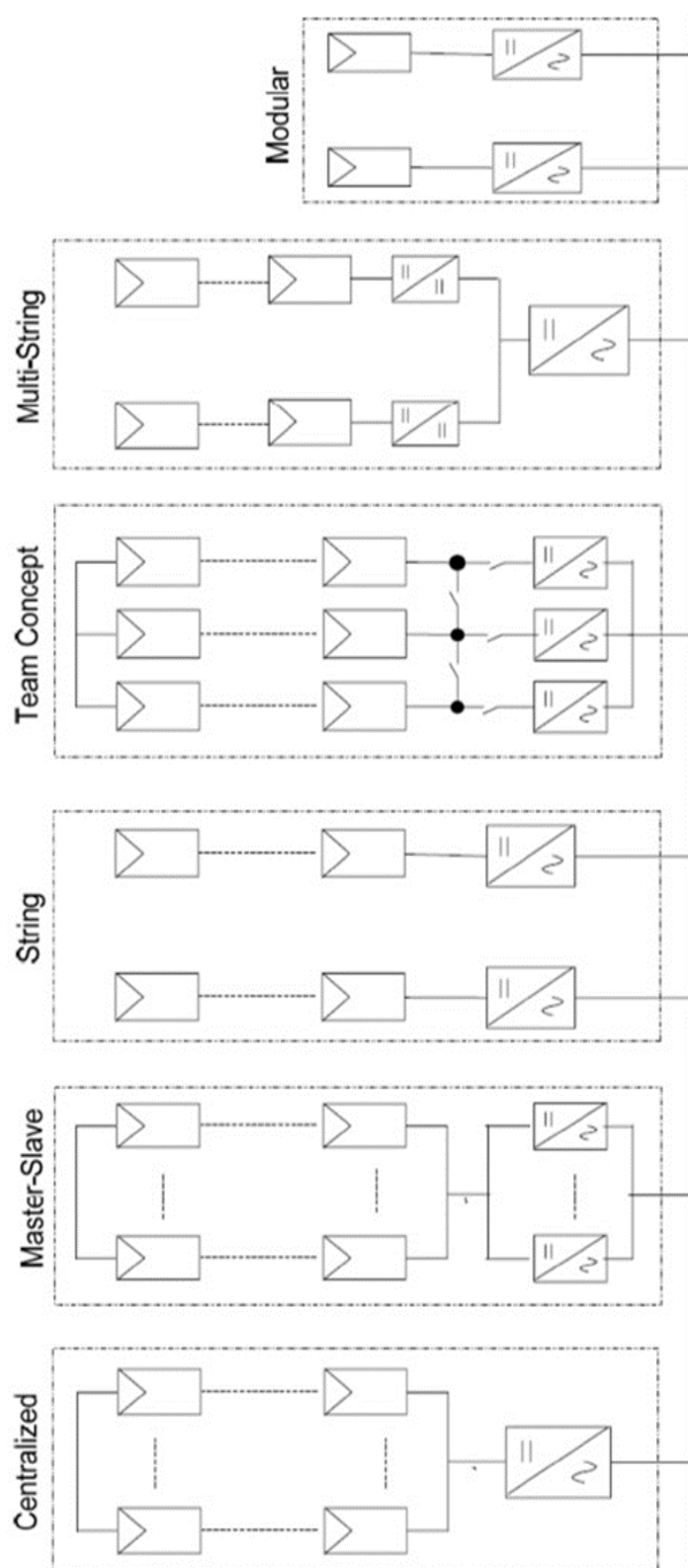
- **Master-Slave**

Tato topologie je zaměřena na zlepšení spolehlivosti centralizované topologie. V tomto případě počty paralelních inverterů, zapojených do FV pole a počty provozních inverterů jsou zvoleny tak, že pokud jeden měnič selže, ostatní mohou dodat celý FV výkon. Hlavní výhodou této topologie je zvýšení spolehlivosti systému. Kromě toho mohou být inventory navrženy tak, aby pracovaly podle úrovně ozáření, kde pro nízké hodnoty ozáření zůstanou některé střídače vypnuty. Toto technické řešení prodlužuje životnost střídačů a zvyšuje celkovou provozní účinnost. Náklady na tuto topologii jsou však vyšší než náklady na centralizovanou topologii. Problémem této topologie zůstávají ztráty výkonu způsobené nesouladem modulů a problém se zastíněním.

- **Centralizovaná**

Jedna z nejrozšířenějších topologií. Je obvykle používána pro rozsáhlé FV systémy z vysokým výkonostním výstupem v jednotkách MW. V této topologii je jeden střídač připojen do FV pole. Hlavní výhodou centralizované topologie jsou nízké náklady v porovnání s ostatními a také snadná údržba jednoho měniče. Nicméně, tato topologie má nízkou spolehlivost, protože

porucha měniče zabraňuje fungování celého FV systému. Kromě toho také dochází k významné ztrátě výkonu v případě nesouladu mezi moduly a zastíněním, a to díky použití pouze jednoho invertoru pro sledování MPP.



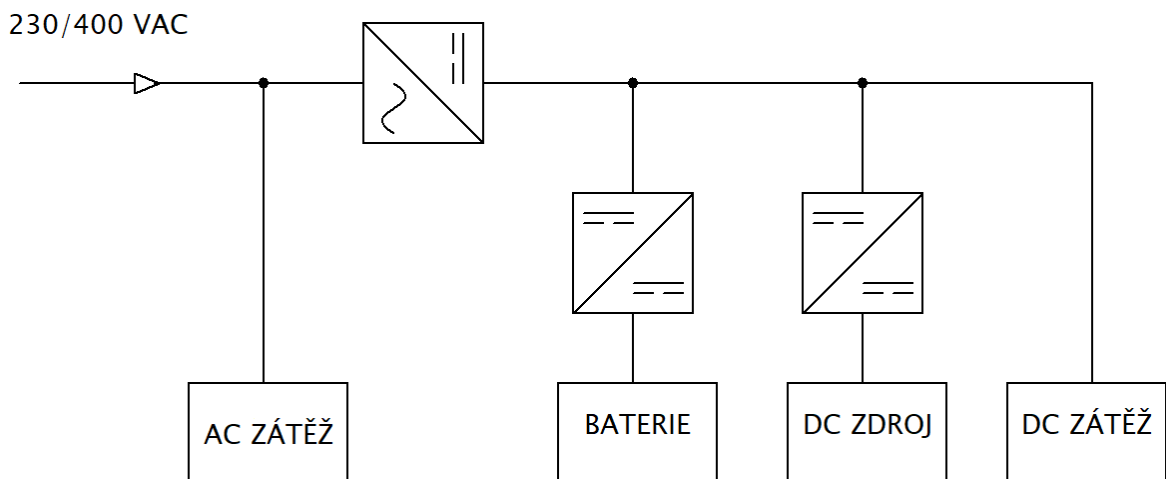
Obr. 2-9 Topologie zapojení on-grid systémů [5]

2.3 AC vs. DC COUPLING

První solární bateriové systémy byly spojeny přes DC. Tyto systémy nabíjely baterie přímo ze solárních panelů s pomocí DC-DC regulátoru napětí. Po dlouhou dobu to byla jediná možnost pro nabíjení bateriových systémů ze slunce. Jelikož panel produkuje DC energii a baterie ukládají DC energii, je tato metoda nejefektivnější, co se týče nabíjení baterií pomocí FV panelů. Technologie baterií a střídačů se v posledních letech dramaticky zlepšila a objevily se na trhu nové typy baterií, protože výrobci zkoumají různé způsoby, jak přidat nebo připojit baterie k novým nebo stávajícím solárním systémům [6].

- **DC Coupling**

Systémy se stejnosměrným napájením používají solární napěťové regulátory, které nabíjejí akumulátorový systém přímo z FV pole. K tomuto typu se používají malé solární regulátory do 10 A, a jejich cena je přibližně 50\$. Používají se také větší a účinnější regulátory s MPPT do 80 A, které jsou stále napěťově omezeny zhruba kolem 150 V DC. Kvůli napěťovému omezení lze obvykle sériově propojit pouze 3 panely, což znamená, že u větších systémů nad 1kW je návrh o něco složitější a zahrnuje paralelní kombinaci stringů. Existují také regulátory s napětím 250-600 V. Tyto regulátory jsou ale poměrně drahé a většinou nemají více MPPT vstupů. Při této velikosti je výhodnější používat AC coupling. Mnoho moderních hybridních střídačů „all-in-one“ jsou ve skutečnosti systémy DC s integrovanými regulátory a střídači uvnitř krytu.



Obr. 2-10 DC coupling [6]

- **Výhody**

Vysoká účinnost nabíjení baterií až 99 % při použití MPPT.

Nízká pořizovací cena pro malé off-grid systémy do 3kWp.

Velmi efektivní pro DC spotřebiče a zátěž.

- **Nevýhody**

Mnohem složitější nastavení systému větších než 3kW, kvůli paralelnímu spojování stringů.

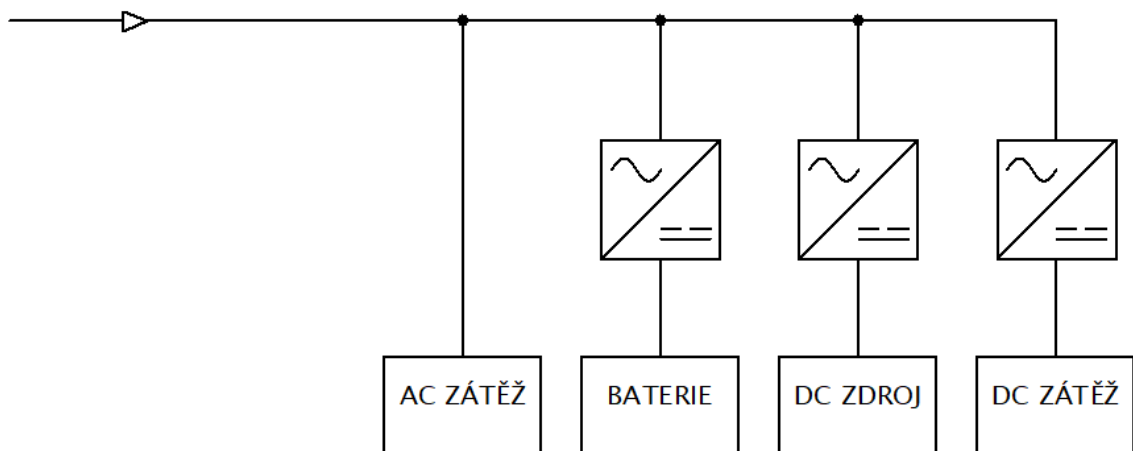
Mnoho solárních regulátorů není kompatibilních s moderními systémy pro správu baterií s lithiovými bateriemi (BMS).

Nižší účinnost při napájení velkých střídavých zátěží vlivem ztrát na převodech DC-DC-AC.

- **AC Coupling**

Systemy spojené pomocí střídavého proudu používají společný inverter, který je připojen k multifunkčním střídačům pro nabíjení baterií. Přestože jsou jednoduché a velmi výkonné, jsou při nabíjení o něco méně účinné (90-94%), než systémy DC couplingu. Tyto systémy jsou však velmi účinné pro napájení AC zátěže během dne a také mohou být snadno rozšiřovány s několika dalšími solárními invertory tak, aby vytvářely „mikrosítě“. Většina domácností využívajících střídavý proud využívá střídavě připojené systémy díky pokročilým multifunkčním střídačům, ovládacím prvkům generátoru a funkcí správy energie. Protože solární invertory tohoto typu pracují s vysokým vstupním DC napětím (až 600 V a více), mohou být instalovány velmi velké systémy. AC coupling je také vhodný pro středně velké třífázové systémy.

230/400 VAC



Obr. 2-11 AC coupling [6]

- **Výhody**

Vyšší účinnost při napájení střídavých spotřebičů během dne (klimatizace...).

Nižší náklady u systémů větších než 3kW.

Většina solárních invertorů obsahuje 2 a více vstupů s MPPT.

- **Nevýhody**

Nižší účinnost při nabíjení akumulátoru – přibližně 92 %.

Kvalitní střídače mohou být drahé pro malé systémy.

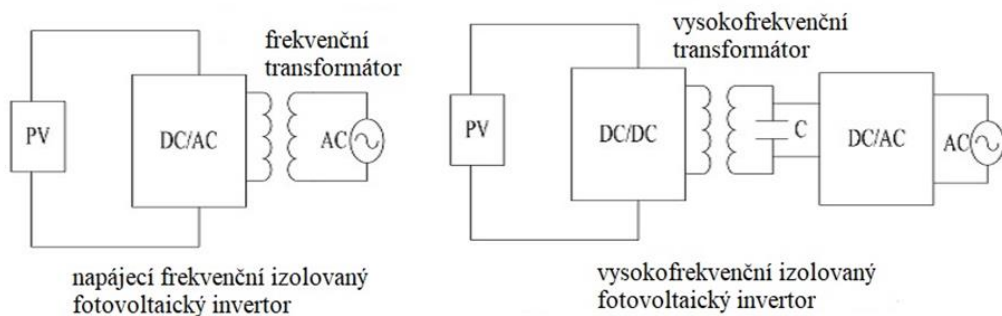
Nižší účinnost při napájení DC zátěže během dne.

2.4 INVERTORY

Invertory (střídače) jsou zařízení, která slouží k přeměně charakteru proudu ze stejnosměrného na střídavý. Používají se hojně ve fotovoltaických systémech, protože FV panel je zdrojem stejnosměrného proudu a většina komerčně používaných spotřebičů jsou konstruovány na proud střídavý.

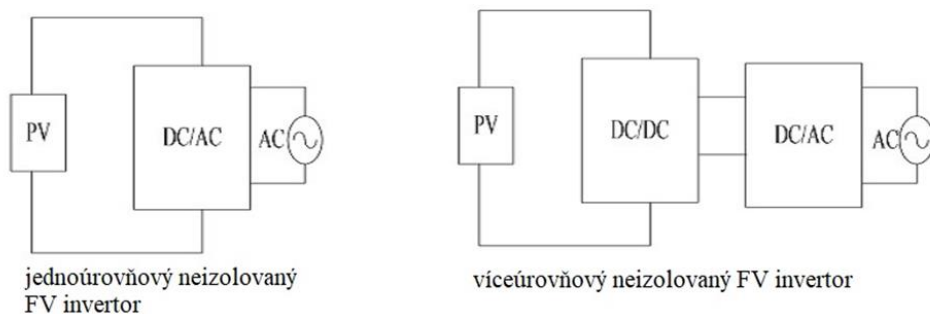
2.4.1 Síťové invertory

Jednou ze základních funkcí síťového invertoru je taková, že se změní charakter ze stejnosměrného na nízkonapěťový střídavý a poté přes napájecí transformátorový frekvenční zesilovač se nastaví napětí na výstupu na 230 V/50 Hz. Výhodou této jednoduché struktury je možnost realizace různých ochranných funkcí. Protože je napájecí transformátorový frekvenční zesilovač umístěn mezi měničem a zátěží, provoz střídače je stabilní a spolehlivý a také má vysokou kapacitu zatížení a odolnost proti rázovým proudům. Kromě toho může potlačit vyšší harmonické složky. Mezi problémy síťových invertorů patří zejména to, že jsou to objemná a drahá zařízení. Pro řešení těchto problémů se navrhuje vysokofrekvenční izolované fotovoltaické síťové invertory, které využívají technologie DC-DC konvertoru, vysokofrekvenčního transformátoru a vysokofrekvenčního filtru usměrňovače k přeměně stejnosměrné složky na střídavou [7].



Obr. 2-12 blokové schéma invertoru s transformátorem [7]

Jednoúrovňové neizolované fotovoltaické síťové invertory vyžadují, aby střídač pracoval ve frekvenčním módu. Aby mohlo dojít k připojení DC přímo k síti potřebují fotovoltaická pole vyšší úroveň napětí, aby byly schopny zaručit vyšší požadavky na úroveň systému. Když přijde na více úrovňové neizolované FV invertory, tak mezi fotovoltaikou obrovského rozsahu a zemí, kde existuje distribuovaná kapacita, protože FV pole a distribuční síť není izolována, bude FV systém vtačovat stejnosměrnou složku do rozvodné sítě, což může mít za následek poškození zařízení.



Obr. 2-13 blokové schéma invertoru bez transformátoru [7]

2.4.2 Hybridní inventory

Nejekonomičtější hybridní solární systémy používají all-in-one hybridní inventory, které se skládají ze solárního invertoru a bateriového invertoru/nabíječe dohromady s chytrými funkcemi. All-in-one hybridní systém je seskládán z hybridního invertoru společně s lithiovou baterií v jednom balení. Nicméně jako většina spotřebičů existuje mnoho vlastností a možností, které odlišují širokou škálu hybridních systémů. Většina hybridních systémů je složena ze dvou typů rozdílných invertorů, které pracují společně tak, aby vytvořili AC coupled systém. Standardní solární inverter a sofistikovaný interaktivní nebo multifunkční bateriový inverter. Solární inverter mohou být jakékoliv, ale obvykle se používají inventory stejného výrobce, nebo inventory, které jsou kompatibilní s interaktivním měničem pro optimalizaci nabíjení baterie. Interaktivní nebo multifunkční inverter funguje buď jako střídač, nebo jako nabíječka akumulátoru a obsahuje kompletní systém řízení energie pomocí inteligentního programovatelného softwaru pro optimalizaci využití energie. Interaktivní inventory napájejí stejným způsobem jako off-grid inventory, ale také kontrolují připojení k síti (import a export) a mohou být nastaveny tak, aby automaticky spouštěly zálohu energie při výpadku sítě [8].

All-in-one inventory (bez zálohy)

Jedná se o nejzákladnější typy hybridních invertorů a fungují stejně jako solární střídače s napájením ze sítě, ale také umožňují skladování elektrické energie v bateriovém systému pro vlastní spotřebu. Hlavní nevýhodou tohoto typu měniče je, že neobsahuje zařízení pro galvanické oddělení od sítě, což znamená, že není schopen přinést napájení v případě výpadku. Pokud stabilita sítě nehraje zásadní roli, jsou doporučeny tyto inventory jako jednoduchá a levná řešení,

All-in-one inventory (se zálohou)

Jedná se o pokročilejší inventory typu all-in-one, které se používají v FV systémech pracujících se sítí, nebo v off-grid systémech. Tyto střídače mají vlastní zálohovací funkci. Za běžných provozních podmínek mohou napájet budovu a přebytky z výroby, které není schopen objekt v danou chvíli spotřebovat, je inverter schopen tyto přebytky dodat do sítě. Pokud dojde k poruše ze strany sítě, nebo jakéhokoliv výpadku sítě, inverter se automaticky přepne do režimu bateriové zálohy a pokračuje v provozu nezávisle na distribuční síti.

All-in-one inventory s integrovanou baterií

Novější trend, kdy je v jednom balení integrován all-in-one hybridní inverter společně s bateriovým systémem. To nabízí velmi elegantní a nákladově efektivní řešení. Tyto systémy jsou velmi jednoduché na údržbu a snadno se instalují, mezi jejich nevýhody patří to, že některé moduly nemohou být později rozšířeny.

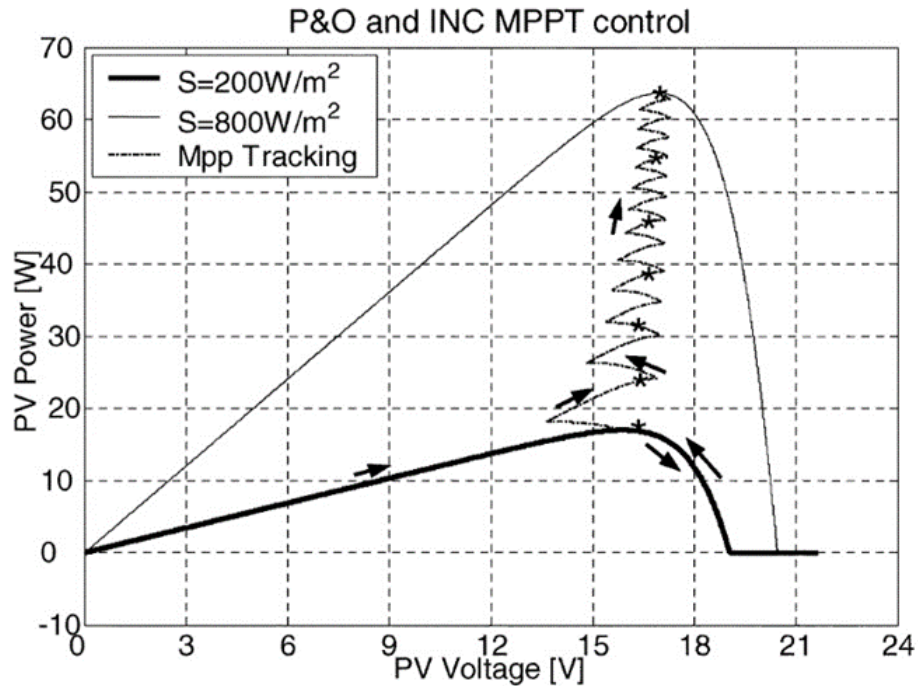
2.4.3 MPPT

I přes vysoké investice, je třeba sledovat optimální využití solární energie, jelikož výroba je velmi dynamická, používá se tzv. MPPT tracker, což je v překladu sledovač bodu maximálního výkonu. Je obsažen ve většině invertorů a jeho funkce je taková, že hledá bod maximálního výkonu při změnách intenzity slunečního záření, které mají velký vliv na generovaný proud s FV panelu, tak také na okolní teplotě, která má zásadní vliv na napětí. MPPT trackery mají za úkol přizpůsobovat napětí a proud těmto změnám, tak aby bylo dosaženo co nejvyššího generovaného výkonu.

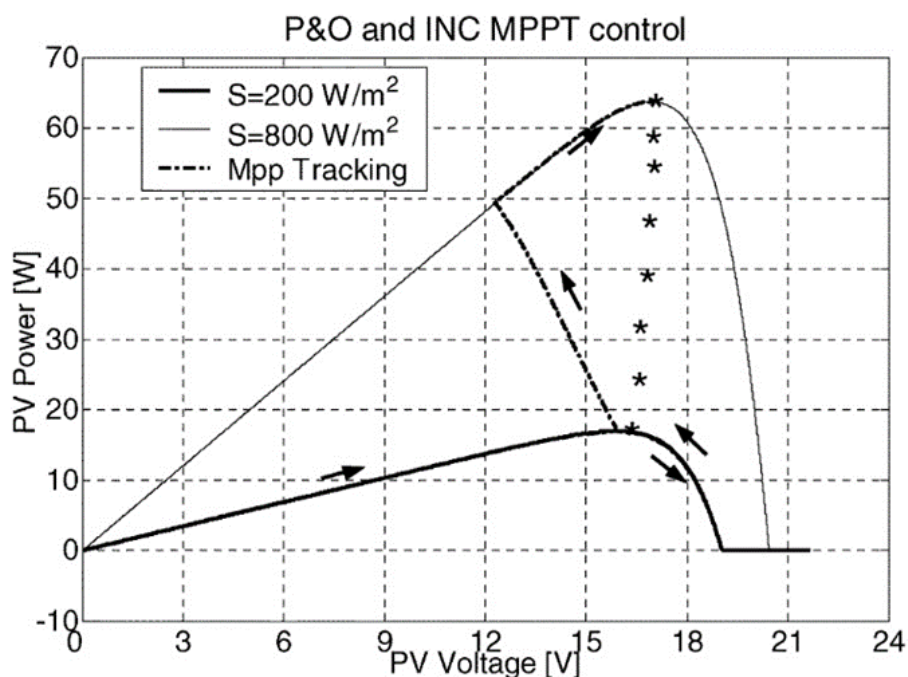
2.4.4 Metody MPPT

- **Perturb and Observe (P&O).**

Tato metoda je založena na odchýlení napětí nebo proudu použitím současného provozního výkonu P a provozního výkonu předešlého P_{OLD} . Pokud je výkon P zlepšen, tak je směr odchýlení zachován, a naopak pokud je P zhoršen, tak je směr obrácen. Navzdory jednoduchosti algoritmu je výkonnost této metody silně závislá na kompromisu mezi rychlostí sledování a oscilací, která se vyskytuje kolem bodu maximálního výkonu. Malá odchylka sice snižuje oscilaci, ale na úkor rychlosti sledování. Další nevýhodou metody P&O je to, že při rychlých změnách ozáření algoritmus ztrácí svůj směr při sledování skutečného MPP [9].



Obr. 2-14 Metoda P&O s MPPT pomalé změny atmosférických podmínek [9]



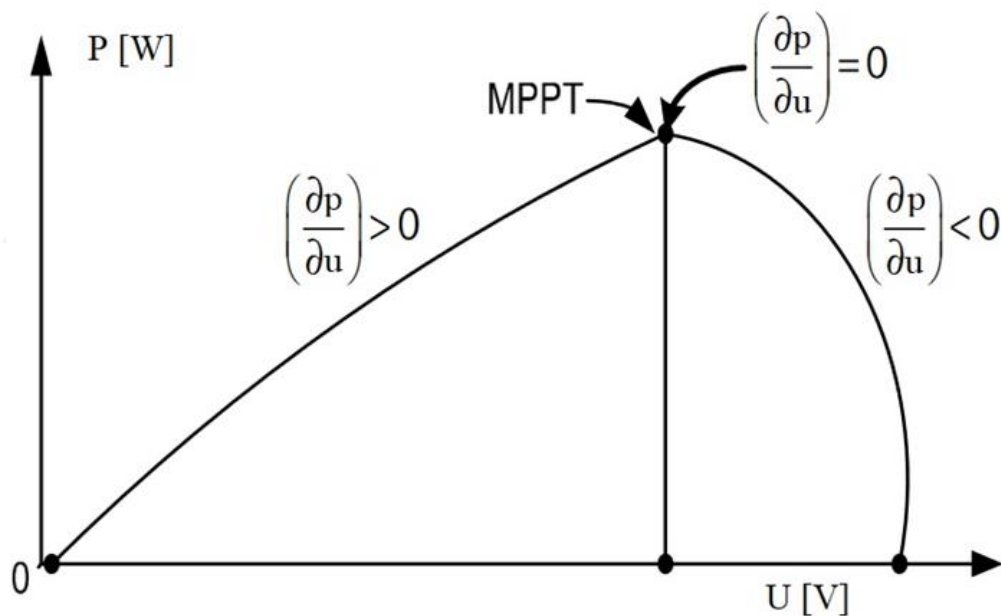
Obr. 2-15 Metoda P&O s MPPT rychlé změny atmosférických podmínek [9]

- **Incremental Conductance**

Metoda přírůstkové vodivosti je založena na postupném porovnávání derivací poměru okamžité a přírůstkové vodivosti. Směrnice derivace výkonu na napětí FV panelu je v bodu MPP nulová, v levé části od MPP kladná a v pravé části záporná. Algoritmus je založen na zvýšení, nebo snížení referenčního napětí panelu U_{REF} tak, aby bylo dosaženo MPP. Tato metoda má stejné nevýhody jako metoda P&O. Rychlost dosažení MPP je závislá na velikosti přírůstku napětí, rychlé dosažení bodu MPP má za následek velká změna přírůstků, což způsobí oscilaci kolem MPP a není tak zaručeno dosažení bodu MPP. Pokud bude přírůstek malý, bude dosažení MPP trvat delší dobu. Řešením je vhodné stanovení velikosti přírůstků napětí [10].

- **Hill-Climbing (HC)**

Tato metoda pracuje na podobném principu, jako metoda P&O, ale namísto odchylování napětí nebo proudu je pracovní bod FV panelu aktualizován odchylováním pracovního cyklu. Kvůli absenci hysterezní smyčky PI je implementace HC značně zjednodušena, a proto je tato metoda hojně využívána u fotovoltaických systémů.



Obr. 2-16 Metoda přírůstkové vodivosti (IC) [10]

2.4.5 Účinnost konverze inverterů pracujících se sítí

Účinnost konverze definuje ztráty, které se objeví při změně charakteru proudu ze stejnosměrného na střídavý. Tyto ztráty jsou v inverteru s transformátory způsobené právě ztrátami na transformátoru, napájecími spínacími zařízeními a vlastní spotřebou měniče pro management, kontrolu, data a jiné [17].

Tato účinnost je dána jako:

$$\eta_{CON} = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} \quad (-; W, W) \quad (2.8)$$

Kde: P_{AC} – Vstupní skutečný výkon AC
 P_{DC} – Vstupní skutečný výkon DC

2.4.6 Sledovací účinnost inverterů

Během dne se provozní parametry FV pole mění. Liší se hodnota intenzity slunečního záření a také teplota, které mění bod maximálního výkonu FV pole (MPP). V těchto situacích, kdy je požadavek invertovat maximální výkon FV pole na střídavý proud, musí inverter automaticky nastavit a vysledovat optimální pracovní bod (sledování MPP). Kvalita tohoto nastavení měniče do optimálního pracovního bodu je definována jako [17]:

$$\eta_{TR} = \frac{P_{DC}}{P_{PV}} (-; W, W) \quad (2.9)$$

Kde: P_{DC} – Okamžitý vstupní reálný DC výkon
 P_{PV} – Maximální okamžitý výkon FV pole

V tomto případě kolísání pracovního bodu, které je způsobeno nežádoucím spojením frekvence síťového napětí na straně DC mělo být co nejmenší. Tento jev se projevuje zejména u zařízení bez transformátoru.

2.4.7 Evropská účinnost střídače

S cílem umožnit a usnadnit porovnání různých střídačů dle jejich účinnosti je definován Evropský standard způsobu měření účinnosti střídačů. Jedná se o dynamickou účinnost vázanou na evropské klimatické podmínky. Vzhledem k tomu, že intenzita slunečního záření dopadajícího na FV pole kolísá během dne, střídač je stále pod různým výkonovým zatížením. Účinnost měniče závisí na okamžitém příkonu zařízení. Pokud je zatížení měniče nižší, což je způsobeno nízkou hodnotou slunečního záření dopadajícího na FV pole, je i účinnost střídače nižší. Pro středoevropské klima platí, že nejvíce energie je generováno v oblasti středního výkonu nominálního jmenovitého výkonu FV panelu. Z tohoto důvodu se výrobci rozhodli optimalizovat účinnost střídače pro částečnou zátěž. Měniče jsou nejlépe hodnoceny podle jejich průměrné účinnosti. Dobrý přibližný popis této skutečnosti popisuje evropská účinnost. Tato účinnost se vypočte dle následujícího [17]:

$$\eta_{Euro} = 0,03 \cdot \eta_{5\%} + 0,06 \cdot \eta_{10\%} + 0,13 \cdot \eta_{20\%} + 0,1 \cdot \eta_{30\%} + 0,48 \cdot \eta_{50\%} + 0,2 \cdot \eta_{100\%} (-; -) \quad (2.10)$$

Kde: $\eta_{\%}$ – Jednotlivé účinnosti střídače při daném procentuálním zatížení

3 AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE VE FV APLIKACÍCH

Ve FV systémech se baterie používají k ukládání energie například přes den, kdy dochází k ukládání například přebytků vyrobené energie a tato energie poté může být využita vždy, když je jí nedostatek, například v noci, při nízké intenzitě slunečního záření, nebo při zamračené obloze. Baterie se ve FV systémech používají také proto, že mohou stabilně dodávat napětí a proud do zátěže a inverteru. K ochraně baterií proti přebíjení nebo hlubokému vybití slouží regulátory nabíjení [13].

3.1 Funkce baterií ve FV systémech

- **Ukládání energie**
Baterie se používají k ukládání energie produkované z FV pole přes den, aby mohly napájet zátěž v noci, zimě, při nízkých hodnotách slunečního záření, nebo ve špatných slunečních podmínkách.
- **Napěťová stabilizace**
Používá se k zásobení zátěže stabilním napětím potlačením napěťové fluktuace a také chrání zátěž před poškozením
- **Dodávka napájecího proudu**
Baterie se používají k dodávce špičkových, startovacích proudů pro zátěže, jako jsou motory a induktivní zátěže. Výkon FV systému s bateriovým úložištěm závisí na systémových parametrech a návrhu baterie podle požadavků na zatížení.
- **Kapacita**
Kapacita baterií se normálně měří v ampér-hodinách (Ah). To je definováno, jako maximální Ah, které může plně nabitá baterie dodat za určitých specifikovaných podmínek.

3.2 Typy baterií

3.2.1 Olověné baterie

Nejčastěji používané zařízení k ukládání energie z FV systémů jsou Olověné akumulátory. Jsou dostupné, jako 6 V a 12 V a jsou uloženy ve tvrdé plastové nádobě.

3.2.1.1 Specifikace olověných baterií:

- Hustota energie: 25-35 Wh/kg
- Životnost: 25-750 cyklů
- Výhody: nízká cena, vysoká účinnost, jednoduché ovládání
- Nevýhody: relativně nízká životnost

3.2.1.2 Typy olověných baterií:

- **Flooded cell**
Existují dva typy těchto baterií, plochá a tubulární. U tohoto typu baterií jsou elektrody zcela ponořeny do elektrolytu, kdy při plně nabitém stavu jsou kyslík a vodík vyráběny z vody chemickou reakcí na anodě a katodě a unikají skrze průduchy. Proto je u tohoto typu nutno doplňovat vodu do baterie.
- **Gelové baterie**
K elektrolytu je přidán oxid křemičitý, který vytváří teplo. Ten se pak přidává do baterie a po ochlazení se stává gelem. Zde se kyslík a vodík, který je vytvořen při nabíjení dostává na anodu a katodu skrze dutiny a praskliny v gelovém elektrolytu.
- **AGM baterie**
V AGM bateriích jsou skleněné desky vloženy mezi anodové a katodové desky. Elektrolyt je absorbován skleněnými deskami. Kyslík z anodové desky rekombinuje s vodíkem z anodové desky pohybem skrze elektrolyt ve skleněných deskách. Pro snížení ztrát vody a plynů jsou elektrody vyrobeny z vápenatého olova. Tyto a gelové baterie potřebují řízené nabíjení.
- **SLA, VRLA suché akumulátory**
Tyto akumulátory jsou hermeticky uzavřené, bezúdržbové a ventilem řízené. Elektrolyt není v tekutém stavu, proto mohou být používány v libovolné pracovní poloze. Jsou nazývány také jako VRLA nebo "suché akumulátory".

3.2.1.3 Nabíjení

Je bezpodmínečně nutné používat pouze nabíječky, které jsou přímo určené k nabíjení AGM nebo gelových SLA akumulátorů. Tyto nabíječky jsou plně automatické a samy řídí průběh nabíjení. Nabíjení akumulátorů musí být prováděno ve větraných prostorech, při nabíjení dochází k uvolňování vodíku a kyslíku. Proto se akumulátory zásadně nesmí umísťovat blízko otevřeného ohně nebo tepelného zdroje. Okolní teplota by měla být v rozsahu 20-25°C. Při nižších nebo vyšších teplotách je potřebná teplotní kompenzace nabíjecího napětí, čímž se eliminuje nebezpečí přebíjení akumulátoru a tím i jeho poškození. Každý akumulátor má daný maximální nabíjecí proud, který je určen jeho konstrukcí. Eventuální překročení této hodnoty znamená zničení akumulátoru nebo zásadní zkrácení jeho životnosti. Doporučený nabíjecí proud je proud, který je pro akumulátor bezpečný a jeho hodnota odpovídá 10 % jeho kapacity (např. Pro 12Ah akumulátor je to 1,2A) [11].

Při použití vhodné nabíječky (napětí akumulátoru-kapacita akumulátoru-doporučený nabíjecí proud) je doba nabíjení přibližně 6-8 hodin. Pokud není akumulátor vybit na 100 %, ale třeba jen na 50 %, je doba potřebná pro úplné nabití zkrácena v odpovídajícím poměru.

3.2.2 Ni-Cd baterie

U tohoto typu baterie je anoda složena z prvku kadmia a katoda je tvořena hydroxidem niklu. Jako separátor se používá nylon a jako elektrolyt se používá hydroxid draselný a toto celé je umístěno v nerezovém pouzdře. Životnost a teplotní tolerance jsou lepší než u olovených baterií. Kvůli regulačním normám pro životní prostředí je dnes kadmium nahrazeno hydridy kovu. Pokud je tato baterie delší dobu nečinná, je její kapacita snížena díky paměťovému efektu. Paměťový efekt znamená proces zapamatování si hloubky vybití v minulosti. Pokud je baterie opakovaně vybíjena na 25 %, tak si to zapamatuje a když je potom vybití větší, než 25 %, tak dojde k poklesu napětí. Pokud chceme kapacitu baterie obnovit, je potřeba ji plně vybit a opětovně plně nabít [13].

3.2.3 Ni-MH baterie

Jedná se o pokročilejší verzi Ni-Cd baterií, která má vysokou hustotu energie. Pro anodu se namísto kadmia používá hydridu kovu. Má vysoký špičkový výkon a menší paměťový efekt, než Ni-Cd baterie, ale také vyšší cenu. Při nadměrném nabíjení může dojít k poškození baterie.

3.2.3.1 Specifikace Ni-MH baterií

- Hustota energie: 60-120 Wh/kg
- Životnost: 700 cyklů
- Výhody: vysoká hustota energie, lepší hluboké vybití, šetrnější k životnímu prostředí
- Nevýhody: cena, vyšší hodnota samovybití

3.2.4 Lithium-iontové baterie

Lithium-iontové baterie mají hustotu energie přibližně 3x vyšší než olovené baterie. Napětí článku je cca 3,5V. U tohoto typu baterií jsou použité elektrody silnější, aby kompenzovaly pasivační fólii vytvořenou reakcí lithiových elektrod a elektrolytu při každém nabíjení a vybíjení. Kvůli silnější elektrodě jsou tyto baterie dražší, než baterie Ni-Cd.

3.2.5 Lithium-polymerové baterie

Tento typ baterií má elektrolyt i separátor, přičemž jsou oba vyrobeny z pevného polymeru. Reakce mezi lithiovou elektrodou a elektrolytem je nižší.

3.2.5.1 Specifikace Lithiových baterií

- Hustota energie: 100-150 Wh/kg

- Životnost: 1000 cyklů
- Výhody: vysoká hustota energie, delší životnost
- Nevýhody: cena

Tab. 3-1 Srovnání jednotlivých typů bateriových článků [12]

Typ článku	Ni-Cd	Ni-MH	Li-ion	Olověný
Hustota energie(Wh/kg)	45-80	60-120	100-150	30-50
Počet cyklů při 80 % hloubce vybití	1500	300-500	>1500	400-500
Projektovaná životnost	5 let+	3-4 roky	10 let+	10 let+
Doba nabíjení	1-2 h	2-4 h	0,5-4 h	8-16 h
Samovybití/měsíc	20 %	30 %	5-10 %	5 %
Nominální napětí článku	1,2 V	1,2 V	3,5 V	2 V
Provozní teploty(vybíjení)	-40, +60 °C	-20, +60 °C	-20, +60 °C	
Požadavky na servis	30-60 dnů	60-90 dnů	6 měsíců	6 měsíců
Přibližné náklady (EUR/Wh)	0,33	0,65	0,33	0,11

3.3 Parametry baterií

3.3.1 Kapacita baterie

Kapacita baterie, nebo bateriového článku, je maximální kapacita náboje v ní uloženého a měří se v Ampér-hodinách (Ah). U Ah je také specifikováno napětí baterie a celková kapacita pro ukládání energie může být získána následovně:

$$C_{Ah} \cdot U = C_{wh} (Ah, V; Wh) \quad (3.1)$$

Kde: C_{Ah} – Kapacita baterie v ampér-hodinách

U – Nominální napětí baterie

C_{wh} – Kapacita baterie ve watt-hodinách

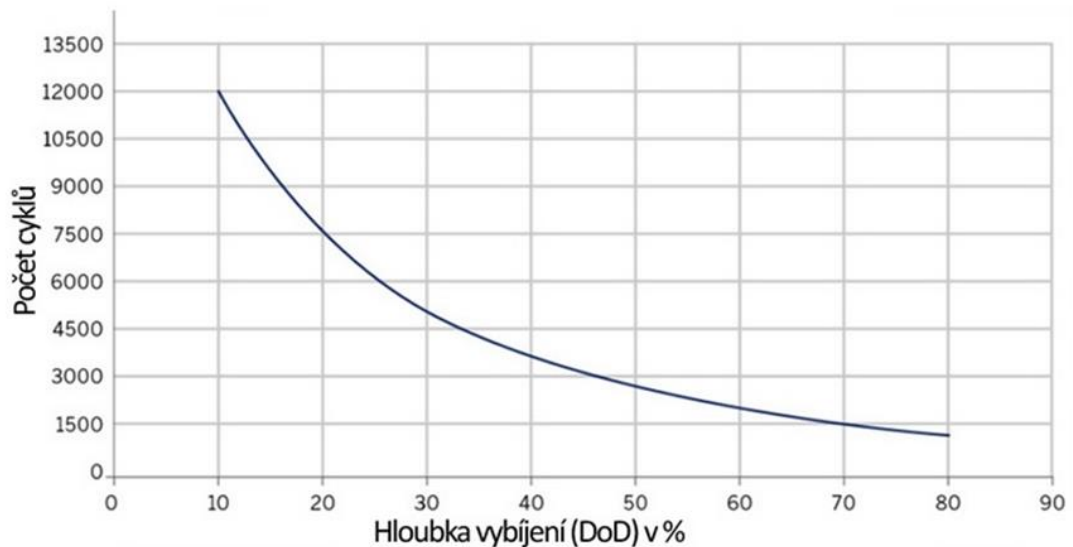
3.3.2 Napětí baterie

Potenciální rozdíly mezi bateriemi v provozních podmínkách jsou známy jako jmenovité napětí nebo pracovní napětí akumulátoru. Baterie jsou dostupné v různých hodnotách napětí a toto napětí specifikuje výrobce baterií např. 3 V, 5 V, 6 V, 12 V, 24 V, 48 V atd.

3.3.3 Hloubka vybití (DoD)

Vyjadřuje procento odebrané energie z baterie. Pokud je baterie nabitá ze 75 % své celkové kapacity, tak to znamená, že *DoD* je 25 %. *DoD* limit u baterií je potřeba hlídat, aby nedošlo k vybití pod hranici, která je udána výrobcem. Při tomto překročení *DoD* může dojít ke snížení životnosti baterie, nebo také k jejímu poškození. Pokud je naopak uživatelem *DoD* vylepšeno, je možno tímto zvýšit životnost baterie.

Životnost baterie (počet cyklů) v závislosti na hloubce jejího vybíjení



Obr. 3-1 Grafické znázornění životnosti olověných baterií [13]

3.3.4 Životnost baterie

Počet nabíjecích a vybíjecích cyklů, kterých může baterie dosáhnout, dokud její nominální kapacita neklesne pod 80 % původní nominální kapacity udávají životnost baterie. Hodnoty se pohybují například od 500–1500 cyklů, záleží na typu baterie. Baterie může pracovat i s nižší kapacitou, která může být způsobena opotřebením.

3.3.5 Míra nabití nebo vybití (C-rating)

Míra nabití, nebo vybití baterie může být udána jako *C-rating*. *C-rating* udává rozdělení kapacity baterie v časovém úseku potřebném k úplnému nabití, nebo vybití baterie. Pokud bude počet hodin potřebný k úplnému nabití nebo vybití baterie např. 10 hodin, tak *C-rating* bude 0,1C, kde *C* je kapacita baterie v Ah. Takže čím vyšší je doba nabíjení nebo vybíjení baterie, tím nižší je *C-rating* a naopak.

3.3.6 Samovybíjení baterií

Čím více se baterie nevyužívá, tím více se snižuje její elektrická kapacita. Toto je dáno vnitřními elektrochemickými reakcemi uvnitř bateriových článků. S rostoucí teplotou se také zvyšuje samovybíjení baterií, a proto je doporučeno, aby byly baterie uchovávány při nižších teplotách. Pokud nejsou baterie skladovány při optimální teplotě, tak mohou např. Lithium-iontové baterie ztratit v prvním měsíci kapacitu až 8 %. Při skladování při teplotě 30 °C mohou olověné baterie ztratit až 50 % své nominální kapacity v průběhu 3 až 4 měsíců, zatímco Ni-Cd baterie mohou ztratit až 50 % své nominální kapacity v průběhu pouhých šesti týdnů.

4 TYPOVÉ DENNÍ DIAGRAMY TDD

Při návrhu FV systému, na objekt, který se bude rekonstruovat, nebo pro novou výstavbu, můžeme pro určení přibližné hodnoty a průběhu spotřeby použít metodiku typových denních diagramů. Tato metodika představuje náhradu zátěžových profilů, které je schopen odběratel využít, pokud nemá k dispozici průběhové měření. Za tímto účelem bylo vytvořeno dle statistických dat 8 charakteristických skupin pro uživatele, kteří využívají elektřinu pro elektrické spotřebiče, nebo pro transformaci na teplo.

Skupiny jednotlivých odběratelů:

- Podnikatel - odběr bez tepelného využití elektřiny - TDD č. 1
- Podnikatel - odběr s akumulacním spotřebičem - TDD č. 2
- Podnikatel - odběr s hybridním vytápěním - TDD č. 2
- Podnikatel - odběr s přímotopným systémem vytápění - TDD č. 3
- Podnikatel - odběr s tepelným čerpadlem - TDD č. 3
- Domácnost - odběr bez tepelného využití elektřiny - TDD č. 4
- Domácnost - odběr s akumulacním spotřebičem - TDD č. 5
- Domácnost - odběr s hybridním vytápěním - TDD č. 6
- Domácnost - odběr s přímotopným systémem vytápění - TDD č. 7
- Domácnost - odběr s tepelným čerpadlem - TDD č. 7
- Podnikatel - odběr pro veřejné osvětlení - TDD č. 8

TDD je složen z 8760 relativních hodnot průměrných hodinových odběrů v roce, které jsou vztaheny k hodnotě ročního odběrového maxima průměrných hodinových odběrů, určeného měření vzorků pro TDD.

Hodnoty typového denního diagramu jsou v rozmezí 0 až 1 a definují tvar diagramu zatížení dané skupiny konečných zákazníků, při normálních klimatických podmínkách.

Hodnota odběru v j-té hodině se zjistí následovně:

$$P_j = P_{max} \cdot TDD_j = \frac{E_{rok}}{T_{max}} \cdot TDD_j (W; W, -; Wh, h, -) \quad (4.1)$$

Kde: P_{max} – Hodnota výkonového maxima

TDD_j – Relativní hodnota j-té hodiny v roce

E_{rok} – Předpokládaná roční spotřeba elektrické energie

T_{max} – Doba využití maxima

Pokud není znám roční odběr daného objektu, musíme určit předpokládanou hodnotu spotřeby a tuto poté přepočítat přes TDD.

5 PŘEBYTKY VE FV SYSTÉMECH

Vyskytuje se celá řada řešení, jak naložit s přebytky, které vznikají při výrobě z FV elektrárny, když je zcela pokryta zátěž. Jedním ze základních řešení, je pomocí chytrého řízení a příslušného softwaru omezit výkon FV pole, pomocí střídačů řízených právě tímto systémem. Dalším z řešení může být akumulace přebytků pomocí bateriového systému. U tohoto způsobu záleží především na využívání přebytečné elektrické energie pro spotřebiče. Jelikož při uvažování bateriového úložiště energie, je v současné době toto řešení nákladné, pro uchovávání vyšších kapacit, proto je při návrhu systému nutné tuto investici pečlivě zvážit. Většina dnešních hybridních invertorů, je schopna pracovat v režimu, kdy je pro nedostatek energie vyrobené pomocí FVE připojena distribuční síť jako záloha, a naopak při plném pokrytí, jak zátěže, tak baterie, je schopen tento hybridní invertor tuto energii omezit např. odstříhnutím výroby FV. Dalším z řešení je použít regulátory toku energií, které se skládají z měřicího modulu a vlastního regulátoru, jak je tomu například u wattrouteru.

5.1 Regulátory toku výkonu

Wattrouter je zařízení určené pro regulaci toků výkonu pomocí triaku, relé, SSR relé a PWM výstupů. Funkcí wattrouteru je měření proudu v reálném čase na všech fázích, přičemž jsou tyto měření vyhodnoceny pomocí regulátoru a ten na základě nastavených priorit dokáže spínat připojenou zátěž, zejména odporovou zátěž. Regulátor může být nastaven tak, že v denních hodinách, kdy je zajištěna výroba FVE a tato vyrobená elektrická energie je vyšší než energie potřebná pro zátěž, dojde k sepnutí výstupu regulátoru, který má nastaven nejvyšší prioritu. Okamžik sepnutí se liší pro triakové a reléové výstupy. SSR výstupy jsou spínány zároveň s triakovými. Po sepnutí spotřebiče, který má nastaven nejvyšší prioritu se čeká až dojde zase k navýšení možného přebytku FVE a pokud k tomuto navýšení dojde, sepne se další výstup s druhou prioritou. Pokud se zpětně sníží vyráběný výkon FV elektrárnou, nebo dojde k sepnutí zátěže, která není připojena k wattrouteru, tak se začnou výstupy odpínat zpětně zase spotřebič s nižší prioritou a při dalším poklesu se zase odepne spotřebič s vyšší prioritou. Další z funkcí regulátoru je režim CombiWatt. Tento režim zajišťuje konstantní denní přísun energie do připojeného spotřebiče. Například, když není dostatek přebytečné energie vyrobené FVE pro nahřátí TUV ve dnech, kdy je potřeba TUV nahřát. Pro připojený spotřebič, který slouží pro ohřev TUV, např. bojler, lze stanovit optimální hodnotu elektrické energie v kWh, kterou je potřeba do spotřebiče denně dodat. Pro bojler je vhodné stanovit hodnotu potřebné energie podle průměrné spotřeby TUV. Pro tento výpočet potřebné energie lze vyjít z následujícího vzorce [15]:

$$E = \frac{c_V \cdot V \cdot \Delta T}{3600000} \quad (kWh; J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}, l, K) \quad (5.1)$$

Kde: c_V – Měrná tepelná kapacita vody ($4180 J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)

V – Objem bojleru

ΔT – Rozdíl teplot

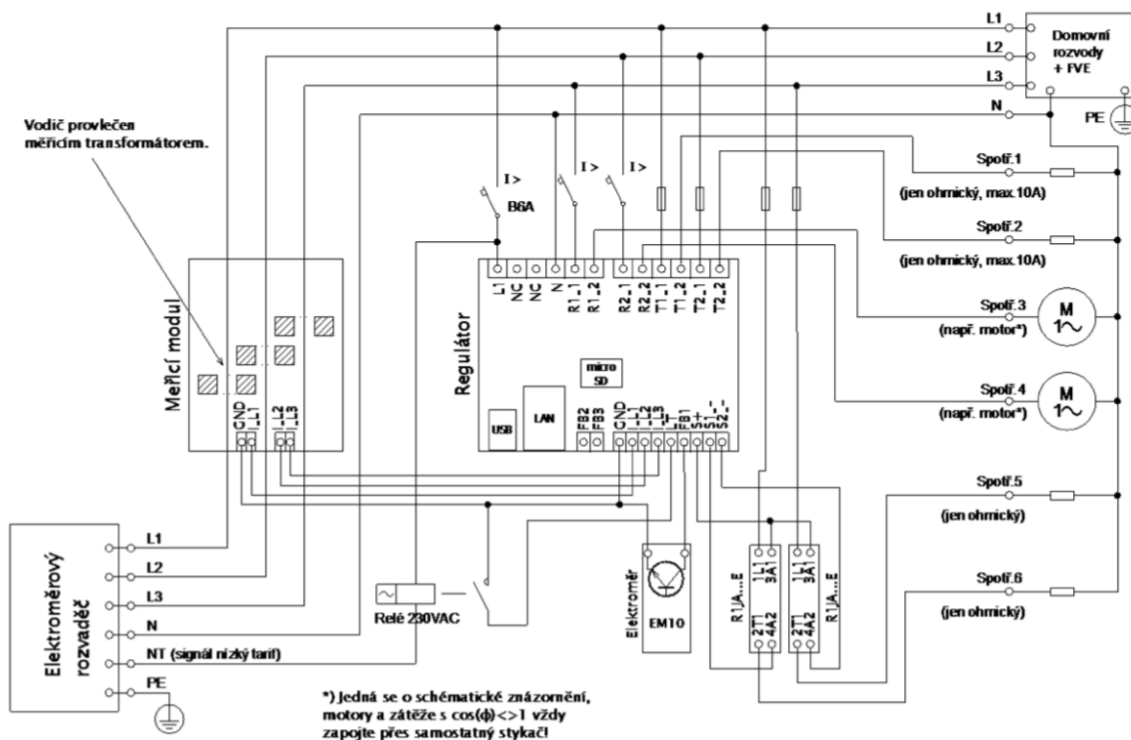
Pokud budeme chtít vodu v bojleru ohřát např. o $50^\circ C$ z původních $20^\circ C$ na $70^\circ C$ a bojler bude na 200 l. Potom potřebná elektrická energie se bude zhruba rovnat:

$$E = 0,0581 \cdot 200 = 11,61 kWh$$

K tomuto údaji je potřeba přičíst tepelné ztráty, jelikož nádoba bojleru není dokonalý izolant. Tyto ztráty většinou udává výrobce nádoby.

V současné době lze nalézt mnoho řešení zapojení z wattrouterem. V datasheetu výrobce pro regulátory wattrouter uvádí, že je možné tyto regulátory použít pro spínání odporových zátěží, tj. elektrické topné spirály o výkonu 2 kW a více. Toto tvrzení je z části pravdivé, ano, lze pomocí

watrouteru spínat odporovou zátěž vyšší, než 2 kW. Co výrobce neuvádí, je vliv na síť. Protože watrouter v podstatě používá připojenou elektrickou síť, jako akumulátor, tj. energii tam vrací a zase si jí bere, dochází při spínání zátěží vyšších, než 750 W k flikru, který je způsoben právě těmito spínacími prvky. Výrobce uvádí, že nedochází k přebytkům, protože tyto toky energie do sítě a zpět se dějí v půlperiodě sinusového průběhu, tj. při jmenovité frekvenci sítě 50 Hz asi 10 mS. Jelikož současné elektroměry měří nejrychleji v čase 1 S, nejsou schopny tyto toky zaznamenat. Zaznamenat toto spínání lze například blikáním žárovek, což je způsobeno právě spínacími procesy. Řešením pro odstranění flikru by mohla být spínaná zátěž [19].

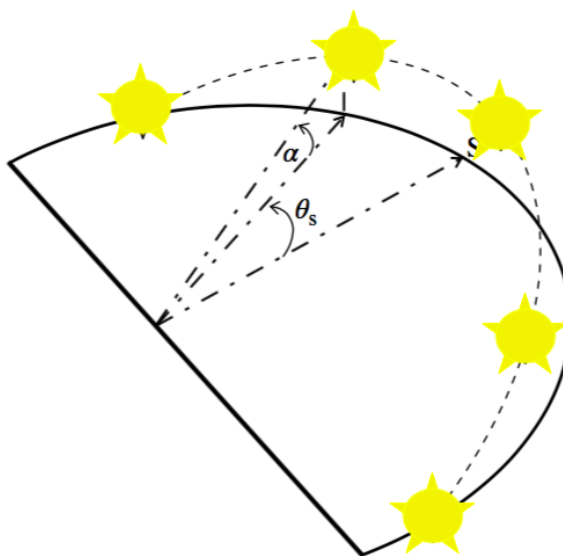


Obr. 5-1 Příklad třífázového zapojení s vyvedením signálu pro NT pro režim CombiWatt [15]

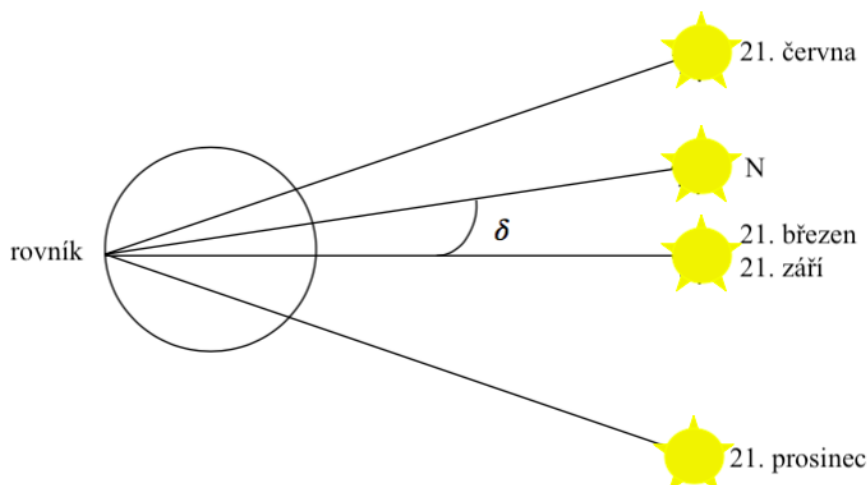
6 VÝPOČTY PARAMETRŮ PRO FV SYSTÉMY

6.1 Výpočet intenzity slunečního záření na horizontálním povrchu

Země obíhá slunce po eliptické dráze. Délka jednoho oběhu země kolem slunce je asi 8766 h, což přibližně odpovídá 365,242 dnů. Zimní slunovrat připadá na 21. prosince, kdy je země vzdálena přibližně 147 miliónů kilometrů od slunce. Na druhé straně při letním slunovratu, který připadá na 21. června, je země vzdálena od slunce přibližně 152 miliónů kilometrů. Pro upřesnění je země nejbližší slunci 2. ledna a toto je nazýváno jako přísluní. Bod, kdy je země nejdál od slunce, tj. 152 miliónů kilometrů připadá na 3. června, a to je nazýváno jako odsluní. Pro pozorovatele stojícího na zemi ve specifickém bodě může být pozice slunce vyjádřena podle dvou hlavních úhlů, které se nazývají úhel výšky slunce (α) a azimutový úhel (θ_s), jak je vidět na obr.3-3 [14].



Obr. 6-1 Azimutový úhel a úhel výšky slunce [14]



Obr. 6-2 Úhel odklonu slunce [14]

Z obr.3-3 můžeme vidět, že úhel výšky slunce je vlastně úhlová výška slunce měřena od vodorovné polohy. Tento úhel můžeme vyjádřit jako:

$$\sin\alpha = \sin L \cdot \sin\delta + \cos L \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega \quad (6.1)$$

Kde: L – Zeměpisná šířka v dané lokalitě
 δ – Deklinace (Úhlová vzdálenost od světového rovníku)
 ω – Hodinový úhel

Deklinace je úhlová vzdálenost od světového rovníku, obr. 3-4. Vypočte se jako:

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin \left[\frac{2\pi \cdot (N - 81)}{365} \right] \quad (6.2)$$

Kde: N – Číslo dne v roce

Hodinový úhel je úhlové posunutí slunce z místního bodu a je definován jako:

$$\omega = 15^\circ \cdot (AST - 12h) \text{ (}^\circ; \text{rad)} \quad (6.3)$$

Kde: AST – Zdánlivý nebo pravý sluneční čas

AST je dán zdánlivým pohybem pravého, nebo pozorovaného slunce. Je založen na zdánlivém solárním dni, což je interval mezi dvěma postupnými návraty slunce k poledníku. Je dán jako:

$$AST = LMT + EoT \pm 4^\circ / (LSMT - LOD) \quad (6.4)$$

Kde: LMT – Lokální polední čas
 LOD – Zeměpisná délka
 $LSMT$ – Lokální standartní polední čas
 EoT – Rovnice času

Lokální standartní polední čas je referenční poloha používaná pro konkrétní časové pásmo a je shodná s nultým poledníkem, který se používá pro Greenwichský střední čas(GMT) a je dán jako:

$$LMST = 15^\circ \cdot T_{GMT} \quad (6.5)$$

Rovnice času je rozdíl mezi zdánlivým a průměrným slunečním časem a je dána jako:

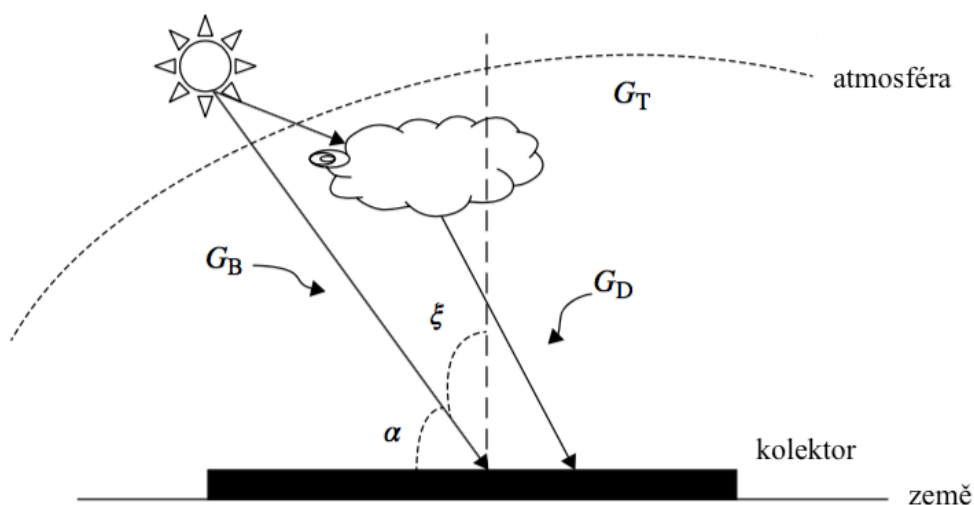
$$EoT = 9,87 \sin(2B) - 7,53 \cos B - 1,5 \sin B \quad (6.6)$$

Kde B se vypočte:

$$B = \frac{2\pi}{365}(N - 81) \quad (6.7)$$

Kde: N – Číslo dne v roce, např. 2. únor odpovídá 33. dni v roce.

Globální sluneční záření (G_T) je dostupné solární záření na úrovni hladiny moře pod zemskou atmosférou. Globální solární záření, které dopadá na horizontální (vodorovný) povrch se skládá ze dvou složek. První složkou je přímé sluneční záření (G_B) a druhou složkou je difúzní (odražené) záření (G_D) znázornění je na ob.3-5.



Obr. 6-3 Globální sluneční záření a jeho složky [15]

Globální sluneční záření je tedy definováno jako:

$$G_T = G_B + G_D \quad (6.8)$$

Přímé solární záření, které prochází skrz atmosféru je z části absorbováno elementy atmosféry jako jsou plyny, nebo molekuly vzduchu. Za jasného dne, je globální sluneční záření složeno z přibližně 70 % záření přímého. Útlum přímého slunečního záření, který může být způsoben prachem, mraky, znečištěním vzduchu lze vyjádřit podle ASHRAOVA modelu, nazývaného také modelem jasné oblohy. Vzhledem k tomuto modelu lze přímé sluneční záření dopadající na povrch země definovat jako:

$$G_{B,norm} = A e^{\frac{-K}{\sin\alpha}} \quad (6.9)$$

Kde: A – Zdánlivé záření v oblasti mimo zemskou atmosféru

K – Optická hloubka

Parametry A a K můžou být vyjádřeny ve funkci čísla dne v roce následovně:

$$A = 1160 + 75 \sin \left[\frac{360}{365} \cdot (N - 275) \right] \quad (6.10)$$

$$K = 0,174 + 0,035 \sin \left[\frac{360}{365} \cdot (N - 100) \right] \quad (6.11)$$

Nyní můžeme přímé sluneční záření dopadající na povrch země vyjádřit jako:

$$G_B = G_{B,norm} \cdot \sin \alpha \quad (6.12)$$

Výpočet difuzního záření dopadajícího na horizontální rovinu je mnohem náročnější v porovnání s přímým slunečním zářením. Totiž vstupující záření může být rozptýleno o částice atmosféry a také odraženo od mraků. Některé záření může být také odraženo od povrchu zpátky na oblohu a pak zase zpátky na zem. Zjednodušený model pro odražené záření počítá, že difúzní záření dopadá se stejnou intenzitou a ze všech směrů. Tento model je definován jako:

$$G_D = 0,095 + 0,04 \sin \left[\frac{360}{365} \cdot (N - 100) \right] G_{B,norm} \quad (6.13)$$

Pro tyto výpočty platí, že hodnota intenzity je vypočítána vzhledem pozorovateli ve výšce přímo nad mořskou hladinou, kde východ nebo západ slunce neovlivňuje, jak výška pozorovatele, tak výška například okolních hor, nebo pohoří. Tímto je výpočet zjednodušen a platí také ostatní zjednodušení, která jsou popsána v textu výše.

6.2 Zastínění FV panelů

Při návrhu FV instalací hraje důležitou roli umístění FV panelů. Jelikož je požadavek, aby pokud možno bylo zcela zamezeno zastínění jednotlivých panelů, kvůli omezení výkonu. V místech kde není možno zcela odstranit zastínění panelů například změnou umístění panelů a je limitována plocha pro instalaci, existuje několik možností řešení. Například rozdělení panelů do více stringů, nebo použití jiné topologie střídačů. Vše je to o zvážení investice, do celkového generovaného zisku, nebo úspory tímto navrhovaným systémem. Pokud je tedy pro FV instalaci není limitovaná plocha a není potřeba toto zastínění řešit, jedná se o ideální řešení. Pro tento ideální případ je potřeba vyřešit zastínění jednotlivých panelů například předchozí řadou panelů, pokud jsou panely instalovány napevno a s určitým sklonem, můžeme tedy napsat, že pro nejhorší případ, kdy je slunce nejniž nad obzorem, tedy v zimním období, je tento úhel vůči horizontální rovině asi 16,7°. Můžeme tedy jednoduše vypočítat rozestup mezi jednotlivými řadami panelů pomocí základních goniometrických funkcí následovně:

$$c = \frac{(a \cdot \sin \alpha) - (a \cdot \sin \beta)}{\tan \gamma} \quad (m; m, -) \quad (6.14)$$

- Kde:
- a – Výška panelu včetně rámu
 - α – Úhel náklonu panelu vůči horizontální rovině
 - β – Úhel náklonu podkladu
 - γ – Úhel dopadu slunečních paprsků (16,7°)

6.3 Přepočet parametrů FV panelů dle teploty

6.3.1 Maximální napětí panelu

Jak již bylo definováno v kapitole 2, teplotní změny působí významně na výstupní napětí panelu. Aby bylo možné správně navrhnout daný střídač, nebo pokud máme vybraný střídač, pak pro výpočet správného počtu panelů, které je možno zapojit na vstup střídače, je nutné nejprve vyhodnotit napěťová a proudová omezení navrhovaných střídačů. Výrobce FV panelů udává v technické specifikaci vybraného modelu panelu dané koeficienty, které je možné zohlednit v tomto výpočtu. Pro výpočet maximálního napětí, které se může objevit na navrhovaném FV panelu tedy použijeme minimální teplotu, která je v dané oblasti instalace možná. Jako zjednodušený výpočet pro tento stav lze použít následující [22]:

$$U_{DCmax} = U_{oc} \cdot \left(1 + \frac{T_{Uoc\%} \cdot \Delta T}{100} \right) \quad (V; V, -, ^\circ C) \quad (6.15)$$

Kde: U_{oc} – Napětí naprázdno panelu (STC)

$T_{Uoc\%}$ – Teplotní koeficient napětí naprázdno

ΔT – Rozdíl teplot mezi teplotou STC (25 °C) a očekávanou teplotou v oblasti

6.3.2 Minimální napětí panelu

Minimální napětí FV panelu je takové napětí, které se objeví na svorkách panelu, při nárůstu teploty. Se zvyšující se teplotou se napětí snižuje a tím se vlastně snižuje i výstupní výkon FV panelu, což je patrné z I-V křivek. Toto napětí lze vypočítat podobně, jako v předchozím případě následovně [22]:

$$U_{DCmin} = U_{mpp} \cdot \left(1 + \frac{T_{Pmax\%} \cdot \Delta T}{100} \right) \quad (V; V, -, ^\circ C) \quad (6.16)$$

Kde: U_{mpp} – Napětí v bodě maximálního výkonu (STC)

$T_{Pmax\%}$ – Teplotní koeficient bodu maximálního výkonu

ΔT – Rozdíl teplot mezi teplotou STC (25 °C) a maximální teplotou v oblasti

6.3.3 Maximální zkratový proud

Maximální zkratový proud je zejména ovlivněn dopadajícím slunečním zářením. Pokud se budeme bavit v oblastech, kde globální hodnota slunečního záření nepřekročí hodnotu 1000 W/m², tudíž můžeme tuto hodnotu použít jako referenční, tak také teplota má vliv na tento proud a to takový, že se vzrůstající teplotou, roste i proud. Maximální možnou hodnotu tohoto proudu lze tedy včetně těchto podmínek vypočítat jako [22]:

$$I_{DCmax} = I_{SC} \cdot \left(1 + \frac{T_{ISC\%} \cdot \Delta T}{100} \right) \quad (A; A, -, ^\circ C) \quad (6.17)$$

Kde: I_{SC} – Proud nakrátko zjištěný z datasheetu výrobce (STC)

$T_{ISC\%}$ – Teplotní koeficient proudu nakrátko

ΔT – Rozdíl teplot mezi teplotou STC (25 °C) a maximální teplotou v oblasti

6.3.4 Maximální počet panelů ve stringu

Při spojování FV panelů do série, se jednotlivá napětí sčítají a proud zůstává stejný. Naopak při spojování panelů paralelně se sčítá proud panelů a napětí zůstává stejné. Pro optimální navrzení panelů, které chceme připojit na vstup střídače, je tedy nutné zvážit tento nárůst napětí. Pokud tedy budeme FV panely zapojovat do série na jeden vstup střídače, tj. jeden string. Můžeme tedy maximální počet panelů vypočítat dle následujícího vzorce [22]:

$$n_{max} \leq \frac{U_{DCmaxinv}}{U_{DCmaxmod}} (-; V, V) \quad (6.18)$$

Kde: $U_{DCmaxinv}$ – Maximální připojitelné napětí na vstupu střídače
 $U_{DCmaxmod}$ – Maximální napětí jednoho panelu

6.3.5 Minimální počet panelů ve stringu

Pro správnou funkci navrhovaného střídače je také potřeba brát ohled na minimální napětí na vstupu střídače. Maximální a minimální napětí definuje rozsah napětí pro sledování bodu maximálního výkonu MPP sledovače. Pokud by na střídač bylo připojené napětí nižší, než je toto minimální napětí, mohlo by dojít ke zkrácení funkce MPP sledovače a tím k omezení výkonu, který je generován FV panely. Tedy minimální počet FV panelů lze za tohoto předpokladu stanovit následovně [22]:

$$n_{min} \geq \frac{U_{DCmininv}}{U_{DCminmod}} (-; V, V) \quad (6.19)$$

Kde: $U_{DCmininv}$ – Minimální napětí na vstupu střídače
 $U_{DCminmod}$ – Minimální napětí jednoho panelu

6.3.6 Optimální počet panelů ve stringu

Při volbě optimálního počtu panelů, které lze připojit na vstup střídače je nutno brát v potaz celkový navrhovaný počet panelů. Je potřeba také zvážit výkonové využití daného střídače vzhledem k jeho maximálnímu výkonu, tak aby poměr připojeného a výstupního výkonu byl co nejvyšší, zároveň musí být splněny tyto omezení [22]:

$$n_{minMOD} \leq n_{OPT} \leq n_{maxMOD} (-; -; -) \quad (6.20)$$

Jako optimální počet můžeme také vzít střední, nebo průměrnou hodnotu mezi těmito omezeními. Samozřejmě je potřeba investici do střídače zohlednit.

6.3.7 Počet stringů

Počet stringů lze tedy zjednodušeně definovat jako poměr celkového instalovaného výkonu ku maximálnímu výkonu panelu při STC a optimálnímu počtu panelů na string. Pro navrhovaný počet stringů tedy můžeme napsat [22]:

$$n_{STR} = \frac{P_{iFV}}{P_{mppMOD} \cdot n_{OPT}} (-; Wp, W, -) \quad (6.21)$$

Kde: P_{iFV} – Jmenovitý špičkový výkon FV systému

P_{mppMOD} – Jmenovitý výkon střídače

6.3.8 Počet střídačů

Počet střídačů lze zvolit podle jednotlivých vstupů na střídači, za respektování předchozích pravidel výpočtu. Počet střídačů se tedy zvolí podle počtu jeho vstupů, za předpokladu, že na jeden vstup připadají omezující parametry popsané výše. Poté můžeme napsat [22]:

$$n_{INV} = \frac{n_{STR}}{n_{inputinv}} (-; -, -) \quad (6.22)$$

Kde: n_{STR} – Počet stringů

$n_{inputinv}$ – Počet vstupů střídače

Pro tyto výpočty byly použity určitá zjednodušení. Všechny výše popsané hodnoty je pro výpočet nutno uvádět v hodnotách platných při STC. Panely jsou ve stringu spojovány pouze sériově. Není zahrnuto použití polystringů, nebo sérioparalelní spojování panelů. Napěťová a proudová omezení jsou platná na jeden vstup střídače.

6.3.9 Ztráty na DC kabelech

Při navrhování systémů je také do celkových ztrát systému nutno započít ztráty, které jsou způsobeny průchodem proudu vodičem. Jelikož při průchodu proudu dochází k tzv. Jouleovým ztrátám, které se projevují jako teplo. Ve FV systémech se běžně používají DC kabely o průřezech 4 mm², častěji 6 mm². Při tomto návrhu musí být samozřejmě splněna podmínka pro dovolený úbytek napětí, která je dle normy ČSN 33 2130 maximálně 5 % z celkového napětí systému. Pro výpočet Jouleových ztrát na DC vodiči vyjdeme z následujícího vzorce [22]:

$$P_{zDC} = \rho \cdot \frac{l}{S} \cdot I_{DCmax}^2 (W; \Omega \cdot mm^2 \cdot m^{-1}, m, mm^2, A) \quad (6.23)$$

Kde: ρ – Rezistivita použitého materiálu vodiče

l – Délka vodiče

S – Průřez vodiče

I_{DCmax} – Maximální proud procházející vodičem

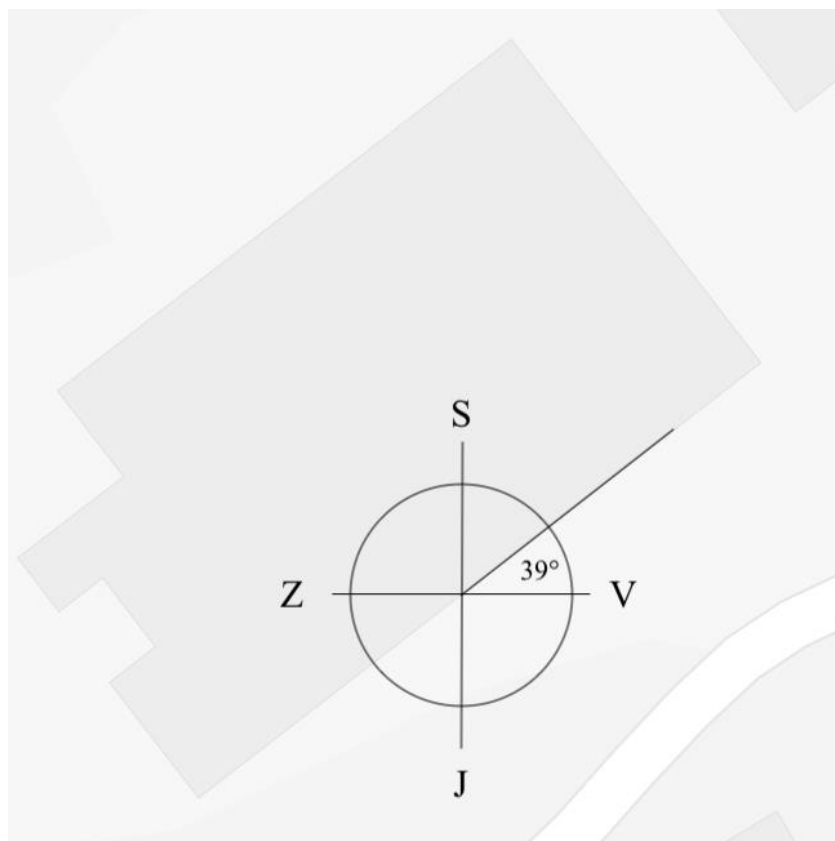
7 NÁVRH FV SYSTÉMU

7.1 Popis a orientace budovy

Budova, na kterou bude navržen FV systém, se nachází v obci Kozlovice č.p. 206, okres Frýdek-Místek. Budova je orientována na jihozápad, jak je uvedeno na obr. 6.1.

Tato budova původně sloužila jako sklad zásob obce. Pro využití potenciálu budovy bylo rozhodnuto pro celkovou rekonstrukci objektu s plánovanou realizací kancelářských prostor a také výrobních prostor. Vzhledem k požadavkům investora a v rámci čerpání dotací z Evropské Unie v dotačním programu pro podnikatele v rámci úspor elektrické energie byl navržen FV systém s akumulací elektrické energie, kterým je napájen administrativní okruh. Výrobní okruh není předmětem řešení tohoto návrhu.

Rekonstrukce objektu bude provedena včetně kompletního vnějšího i vnitřního zateplení objektu, výměna oken, rekonstrukce střechy a dalších stavebních prací. Střecha je rovinného typu s mírným sklonem na zadní stranu asi 5° . Hromosvod je řešen spojením oplechování na atikách a uzemněn pomocí drátového zemniče. Půdorys tohoto objektu byl namodelován v prostředí AutoCad a je uveden v příloze č.1.



Obr. 7-1 Orientace budovy

7.2 Definice spotřeby objektu

Předpokládaná spotřeba je definována pomocí typových denních diagramů odběru pro tento typ objektu a taky dle instalovaného výkonu spotřebičů, které bude navrhovaný FV systém napájet. Výpočtový výkon je vypočten přes koeficient soudobosti. Hodnoty pro tento koeficient jsou stanoveny v normě ČSN EN 60439. Hodnoty koeficientu, které jsou odlišné od této normy byly stanoveny na základě odhadu pro daný typ spotřebiče. Hodnoty jednotlivých spotřebičů jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 7-1 Definování výpočtového výkonu spotřebičů

Popis	Počet	Pi[kW/ks]	Pi[kW]	CosFí	Soudobost	Ps[kW]
SV kanceláře	26,00	0,05	1,17	1,00	0,80	0,94
SV kuchyň	4,00	0,05	0,18	1,00	0,50	0,09
SV chodby	39,00	0,05	1,76	1,00	0,70	1,23
SV koupelny	24,00	0,05	1,08	1,00	0,50	0,54
SV záchody	5,00	0,05	0,23	1,00	0,30	0,07
SV tech.m.	6,00	0,05	0,27	1,00	0,20	0,05
SV zasedací m.	9,00	0,05	0,41	1,00	0,40	0,16
ZS kanceláře	14,00	1,00	14,00	0,90	0,37	5,18
ZS úklid	7,00	0,60	4,20	0,85	0,20	0,84
ZS zased.	4,00	1,00	4,00	0,90	0,40	1,60
ZS vstup	4,00	0,50	2,00	0,90	0,50	1,00
ZS kuchyn	4,00	1,00	4,00	0,85	0,20	0,80
SUMA			33,285			12,498

Definice skutečného výkonu:

$$P_s = \beta \cdot P_i (\text{kW}; -, \text{kW}) \quad (7.1)$$

Kde: β – Soudobost dané skupiny spotřebičů

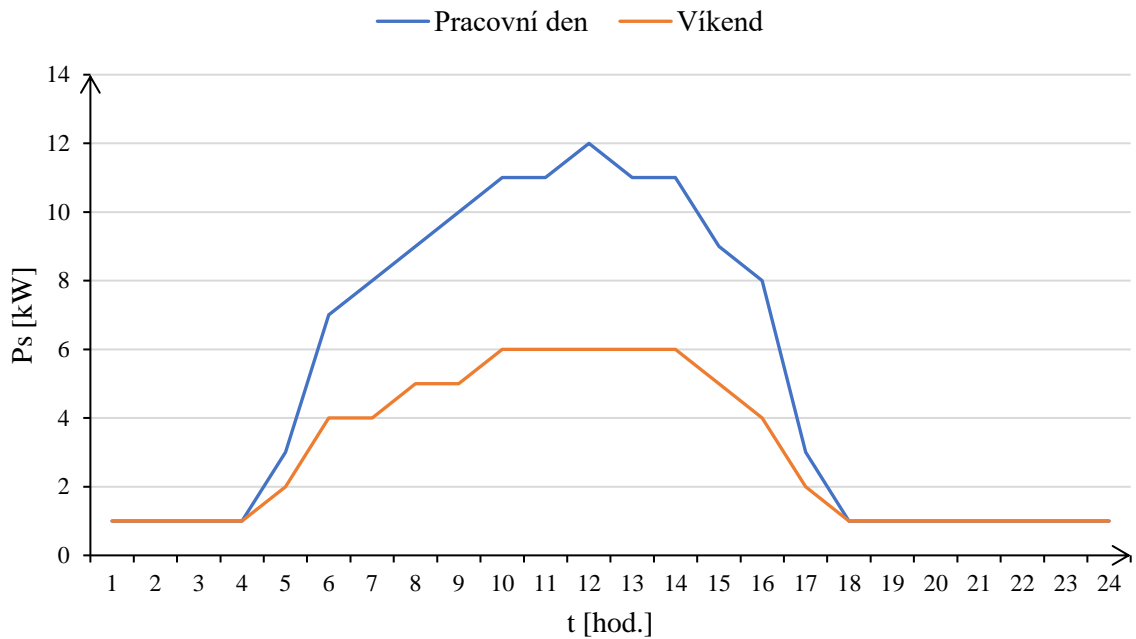
P_i – Instalovaný výkon

Výpočet proudu hlavního jističe:

$$I_B = \frac{P_s + rezerva}{U_{Nf} \cdot \cos\varphi} = \frac{13000}{230 \cdot 0,95} = 59,5 \text{ (A; W, V, -)} \quad (7.2)$$

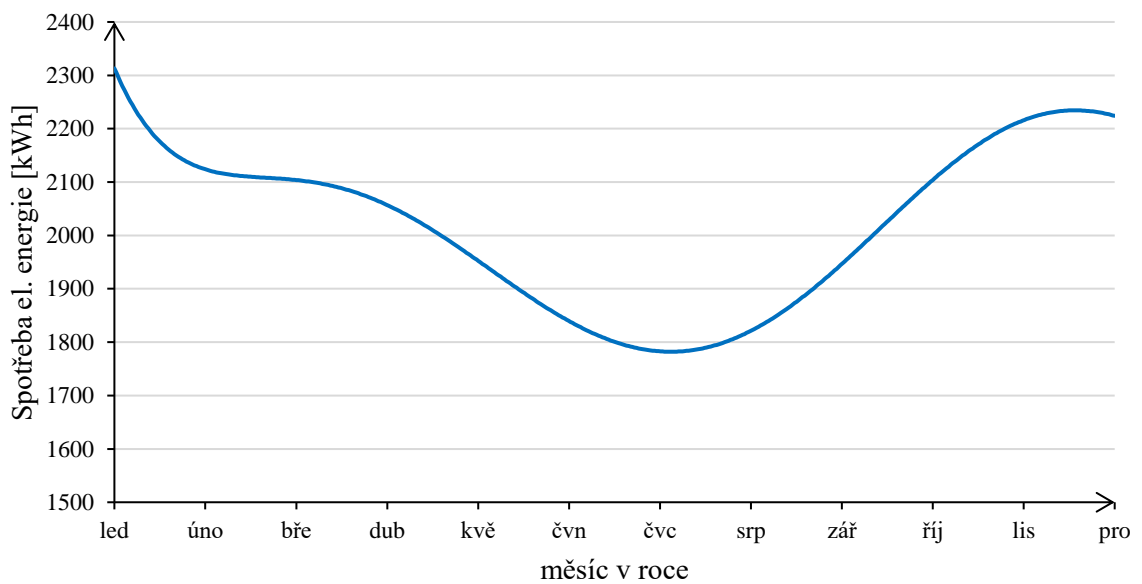
Výpočtový proud pro návrh hlavního jističe je 59,5 A. Při návrhu musí být splněna podmínka že $I_B \leq I_{NJ}$. Z jmenovité řady jističů tedy vybereme nejbližší vyšší tedy jistič s jmenovitou hodnotou 63 A. Jmenovité řady hlavních jističů vychází z normy ČSN EN 60898-1 s vypínací charakteristikou typu B.

Odhadovaný průběh spotřeby elektrické energie během dne



Obr. 7-2 Grafické znázornění spotřeby objektu během dne

Celková odhadovaná spotřeba elektrické energie



Obr. 7-3 Grafické znázornění odhadované spotřeby elektrické energie

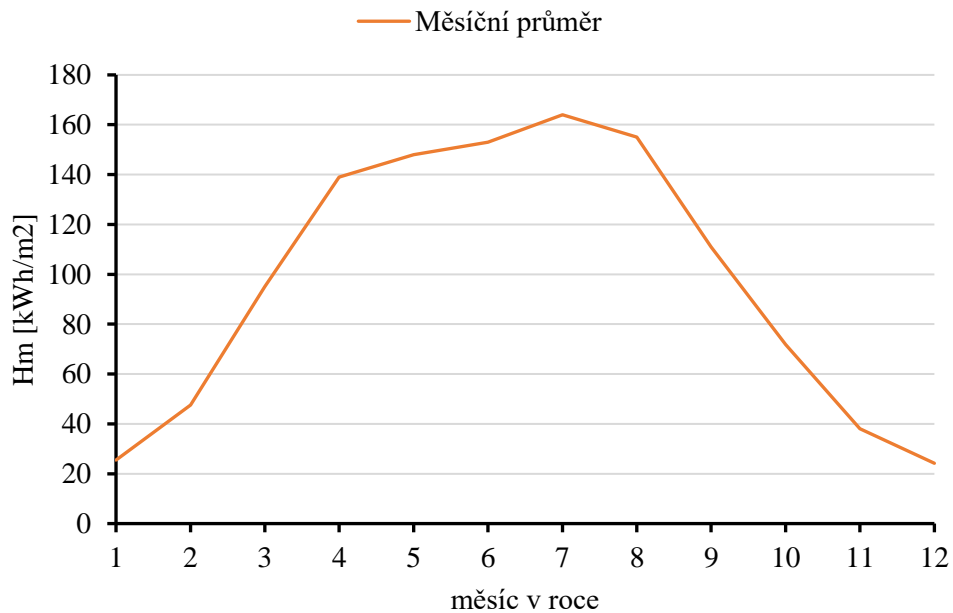
Pro odhad celkové spotřeby elektrické energie bylo využito hodnot typových denních diagramů spotřeby, přičemž byl pro tento objekt vybrán TDD č. 1. Na základě těchto definovaných hodinových hodnot a hodnot odhadovaných, byl sestaven průběh spotřeby v daném objektu, jak je vidět na obr. 6-3.

Celková odhadovaná spotřeba elektrické energie za rok je 24 485 kWh.

7.3 Definování výroby elektrické energie v lokalitě

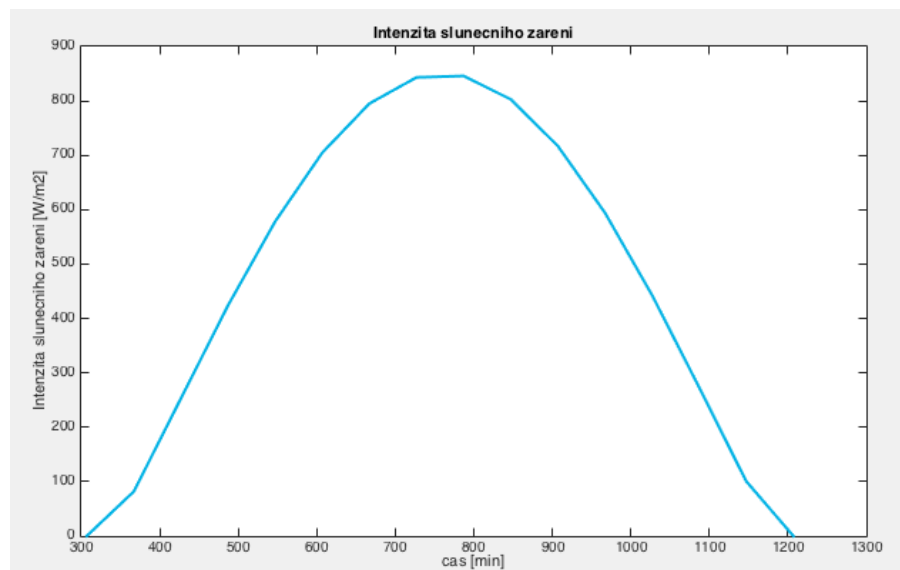
Pro zjištění množství dopadajícího slunečního záření na horizontální rovinu v dané lokalitě byl použit program PV-GIS. V tomto programu byly zjištěny průměrné měsíční hodnoty dopadajícího slunečního záření na plochu o náklonu 33° orientovanou přímo na jih. Tento úhel sklonu byl zjištěn v programu PV-GIS jako nejlepší úhel náklonu pro volně stojící FV panely, které jsou pevně přichyceny, tak aby během celého roku byly schopny zachytit co nejvíce slunečního záření. Roční úhrn je zobrazen v následujícím grafu obr. č. 6-4.

Roční úhrn solárního záření na nakloněné rovině



Obr. 7-4 Grafické znázornění dopadajícího slunečního záření na nakloněnou rovinu

Pro stanovení intenzity slunečního záření pro daný den v roce, byl napsán skript v prostředí MATLAB. V tomto skriptu jsou použity zjednodušené definované v kap. 5.



Obr. 7-5 Grafické znázornění dopadajícího slunečního záření na horizontální rovinu

Programem byly vypočteny hodnoty slunečního záření pro 210. den v roce v dané lokalitě dopadající na horizontální rovinu 1 m². V porovnání s programem PV-GIS se toto zobrazení může lišit díky použitým zjednodušením, které jsou popsány v kap. 5.

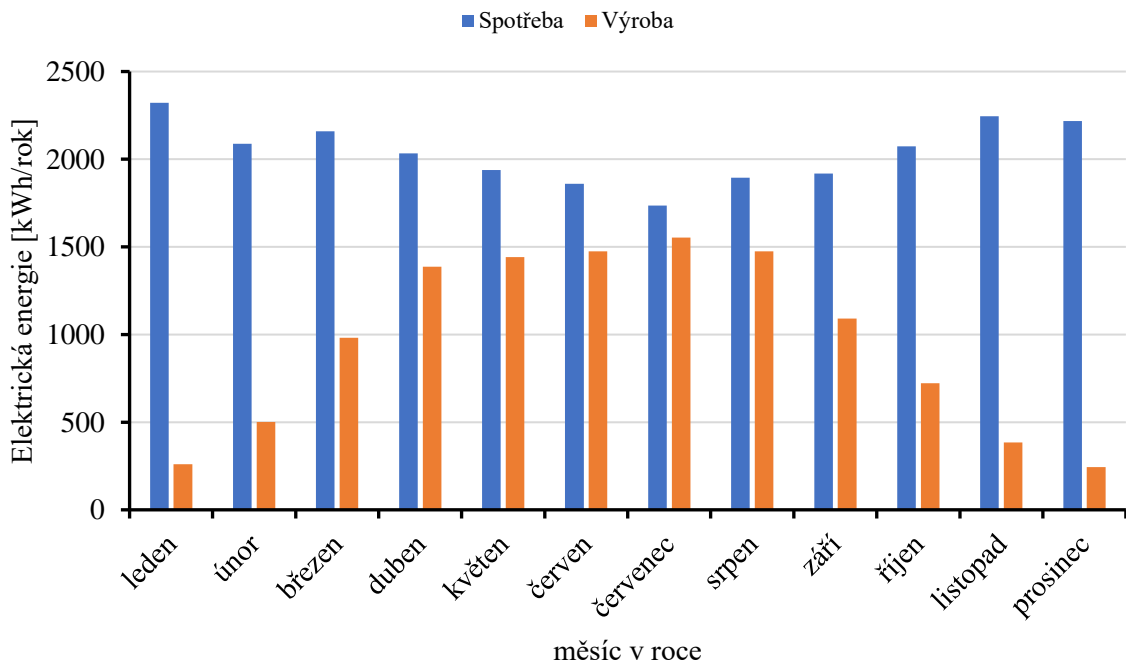
7.4 Výpočet prvků systému

Na základě výše uvedených předpokladů byl navržen FV systém, který se skládá z 40ks fotovoltaických panelů firmy Jinko Eagles JKM270PP. Datasheet uveden v příloze 8.2.

Celkový instalovaný špičkový výkon těchto panelů je 10,8 kWp. Panely budou pevně přichyceny na nosné trojúhelníkové konstrukci na rovném podkladu. V místě návrhu systému nedochází k zastínění plochy, kde budou FV panely instalovány. Orientace panelů bude přímo na jih. Sestavení je znázorněno v příloze č.1.

Dle definovaného špičkového výkonu FV pole byla programem PV-GIS vypočtena odhadovaná celková výroba tohoto FV pole v dané lokalitě v období jednoho roku za předpokladu 15 % systémových ztrát. Tyto hodinová data byly zpracovány pomocí programu excel a celková výroba generovaná s tímto předpokladem je 11 515 kWh. FV systém je navržen tak, aby byla veškerá vyrobená elektrická energie spotřebována v objektu.

Porovnání výroby a spotřeby v daném objektu



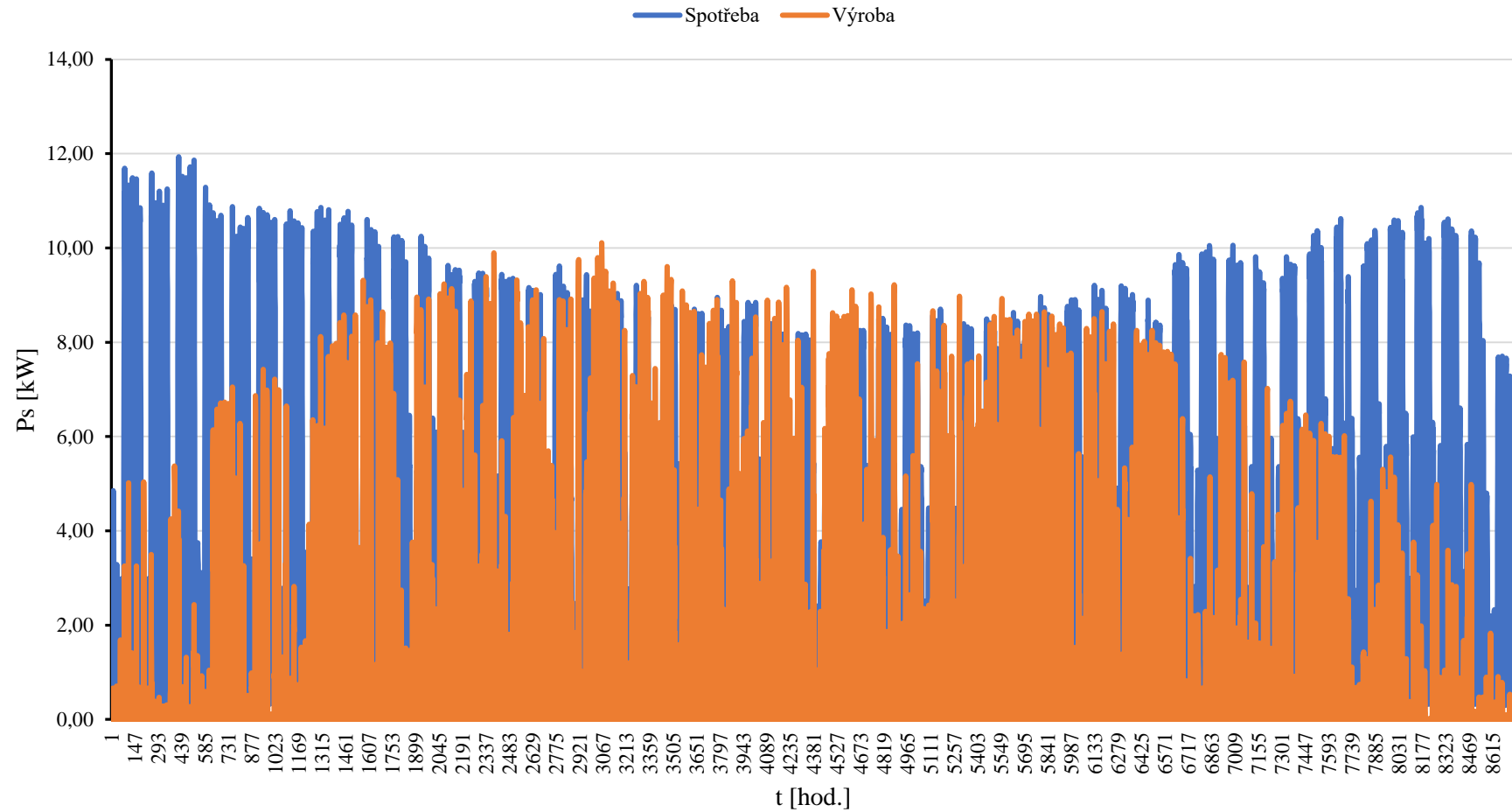
Obr. 7-6 Grafické znázornění výroby a spotřeby

Tab. 7-2 Odhadované ztráty systému

Jmenovitý výkon FV systému	10,8 kWp
Systémové ztráty	15 %
Ztráty v důsledku teploty a nízké intenzity slunečního záření	5,1 %
Ztráty vlivem úhlové odrazivosti	3 %
Celkové odhadované ztráty	23,1 %

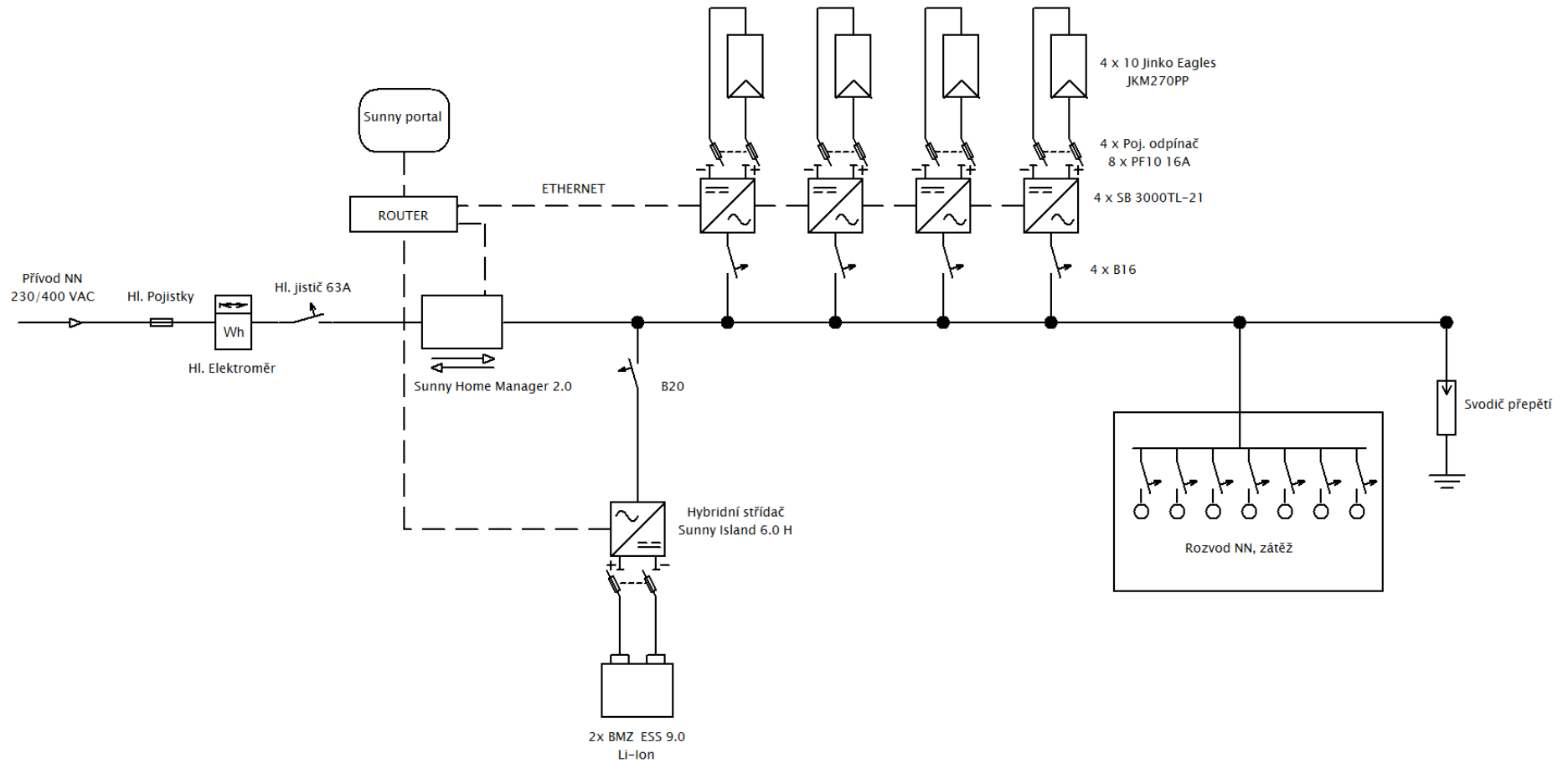
7.5 Detailní přehled výroby a spotřeby

Detailní přehled odhadované výroby a spotřeby za rok



Obr. 7-7 Detailní přehled výroby a spotřeby

7.6 Jednopolové schéma navrženého systému



Obr. 7-8 Jednopolové schéma navrhovaného FV systému

Pro návrh systému a jeho dílčích komponent byl na základě teoretických poznatků uvedených v kapitole 5. napsán skript v prostředí programu MATLAB. V tomto programu byly jako vstup použity parametry navrhovaných FV panelů, jejich limitní parametry a také limitní parametry na vstupu navrhovaných měničů. Skript je obsahem přílohy k tomuto dokumentu.

V následujícím obrázku je shrnuto zadání vstupních parametrů pro zmiňovaný skript.

```
%Lokace Kozlovice 206, Kozlovice, L =(49.572184), LOD = (18.278280)
L = 49.572; %---Zadejte zemepisnou sirku ve °
LOD = 18.278; %----Zadejte zemepisnou delku ve °
N = 210; %----Zadejte cislo dne v roce
T_GMT = +2; %----Zadejte časovou zonu GMT
krok = 60; %---- Zadejte časový krok (min)
Ds = 23.45*(sind((360*(N-81)/365))); %---- Výpočet úhlu sklonu|
%-----FV pole-----
Pcelk = 10.8; %---- Zadejte instalovaný peak výkon FV pole v [kWp]
%-----FV PANEL-STC-DATASHEET-----
Pmaxmod = 270; %---- Zadejte maximální výkon panelu STC
Tcoefuoc = -0.3 ;%---- Zadejte teplotní koeficient napětí naprázdno panelu
Tcoefisc = 0.06 ;%----Zadejte teplotní koeficient proudu nakrátko panelu
Tmin = -25 ;%---- Zadejte minimalni teplotu v oblasti [°C]
Tmax = 50 ; %---- Zadejte maximalní teplotu v oblasti [°C]
Uocmod = 38.8 ; %----- Zadejte napětí naprázdno jednoho panelu [V]
Iscmod = 9.09; %----Zadejte zkratový proud modulu [A]
Umpmod = 31.7 ; %----Zadejte napětí bodu max. výkonu panelu [V]
%-----rozměry panelu-----
v = 1650; %-----zadejte vysku panelu v mm
s = 992; %-----zadejte sirku panelu v mm
sklon = 33; % zadejte sklon panelů ve °, (0 - 90), PVGIS
sklonp = -2; % zadejte sklon podkladu ve °
o = 1; %---Zadejte jak budou panely postaveny, na vysku o = 1,
%na sirku o = 2
%-----Střídač-DATASHEET-----
Udcmaxinv = 750; %--- Zadejte maximální hodnotu napětí na vstupu měniče [V]
Udcmininv = 125; %---- Zadejte minimální napětí na vstupu měniče [V]
nvstinv = 1; %----- počet vstupů střídače
%-----Kabely DC strana-----
Skab = 6; %--- Zadejte průřez FV kabelu, Standartně 4 nebo 6 mm2
lkab = 100 ; %---- Zadejte celkovou délku v ech kabelů DC v metrech
rezkab = 0.0169 ;%--Měď = 0.0169
%-----
Tstc = 25; %---Teplota STC
Pc = Pcelk*1000; %----- přepočet na Wp
```

Obr. 7-9 Vstupy programu MATLAB

Ve vstupech jsou použity hodnoty pro navrhované prvky, které jsou uvedeny v jejich datasheetu v příloze. Skript pracuje s použitými zjednodušeními a předpoklady, které jsou popsány v kapitole 5.

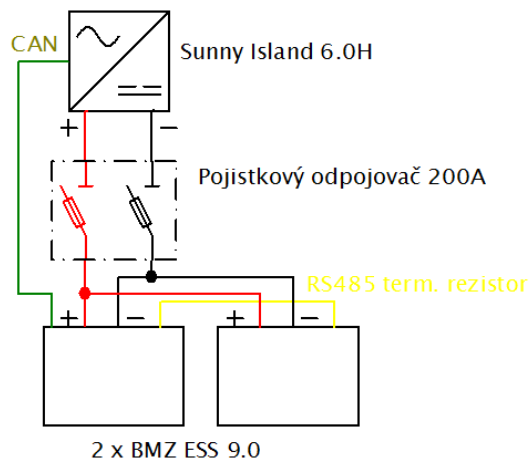
Výstupy z programu jsou uvedeny v následující tabulce, je zde také uvedeno porovnání vypočtených parametrů pomocí skriptu a pomocí návrhového online programu SUNNY WEB DESIGN.

Tab. 7-3 shrnutí parametrů návrhu

MATLAB		SUNNY WEB DESIGN
Minimální rozestup mezi řadami panelů	3 [m]	
Maximální napětí jednoho panelu vzhledem k teplotním změnám	44,62 [V]	
Minimální napětí jednoho panelu vzhledem k teplotním změnám	29,32 [V]	
Maximální zkratový proud jednoho panelu	9,2 [A]	9,1 [A]
Maximální FV napětí	446 [V]	441 [V]
Minimální FV napětí	293 [V]	284 [V]
Maximální počet panelů na string řazených sériově	16 [ks]	
Minimální počet panelů na string řazených sériově	5 [ks]	
Optimální počet panelů na vstup MPP střídače	10 [ks]	10 [ks]
Počet střídačů	4 [ks]	4 [ks]
Ztracený výkon při jmenovitém provozu na DC vedení	0,22 [%]	0,21 [%]

Z tabulky je vidět, že se návrh dle hodnot z matlabu malinko liší než hodnoty vypočtené pomocí webového rozhraní. Tato odchylka může být způsobena například tím, že webové prostředí počítá s jinými teplotami, než jsou zadány v programu matlab. Tento program lze použít jako prostředek pro návrh systému, přičemž je možno měnit vstupní hodnoty dle libosti nebo jako prostředek k ověření parametrů, navrženým pomocí jiných programů.

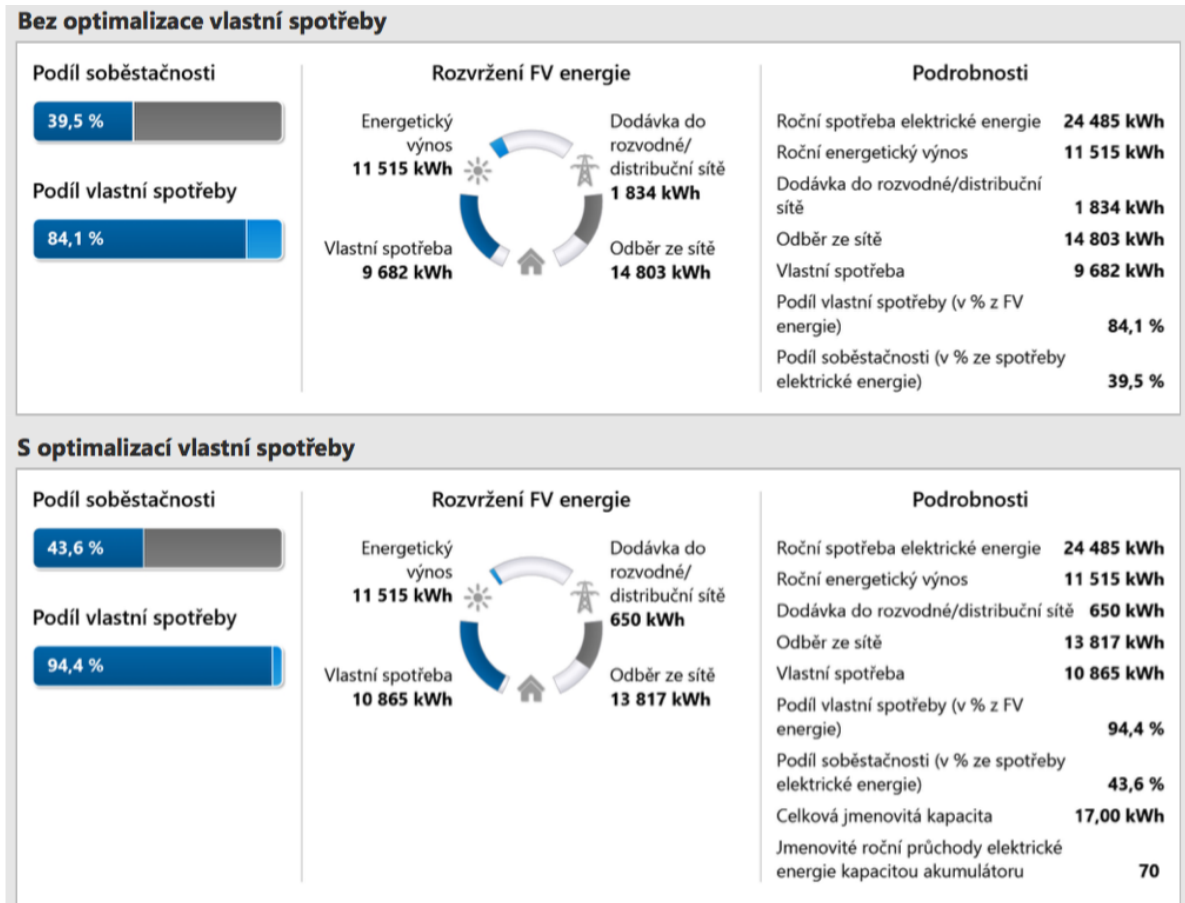
Akumulace elektrické energie je provedena pomocí bateriového systému Německého výrobce BMZ, jedná se o Li-Ion NCA baterii. V návrhu jsou použity 2 baterie o celkové kapacitě 17kWh. Řízení nabíjení a vybíjení baterie bude provedeno pomocí softwaru od výrobce SMA. Připojení baterie k hybridnímu střídači je zobrazeno na následujícím obrázku.



Obr. 7-10 Schéma připojení bateriového systému

K optimalizaci vlastní spotřeby je navržen měřící systém Sunny Home Manager 2.0. Tento měřící systém je schopen vyhodnocovat toky energie a ve spolupráci se softwarem Sunny Portal inteligentně řídit jednak připojený hybridní střídač a tím regulovat nabíjení a vybíjení baterie na základě požadavků spotřeby, tak na základě nastavení uživatele. V nejnovější verzi softwaru lze také zamezit přetokům do distribuční sítě. Pokud by vznikl přebytek energie na straně zdroje, dojde k omezení výkonu střídačů a tím k vyrovnání energetické bilance [18].

K porovnání navrženého systému bez optimalizace a s optimalizací vlastní spotřeby byl použit program Sunny Web Design na základě odhadované spotřeby objektu.

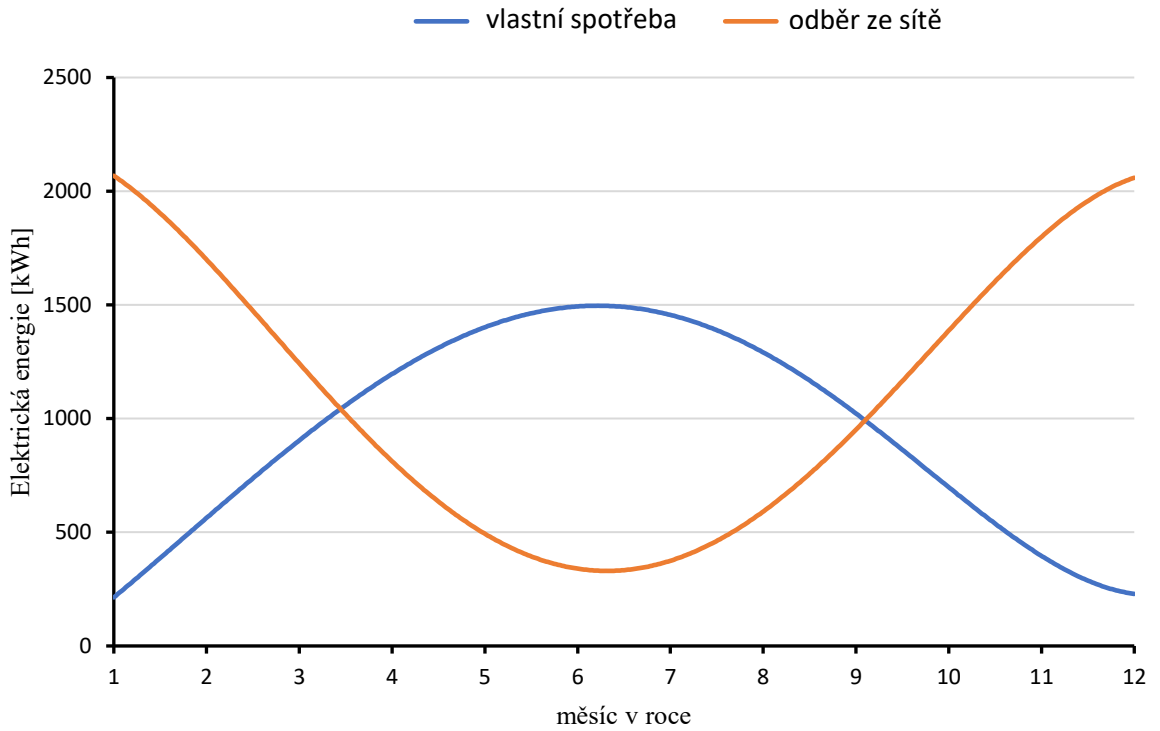


Obr. 7-11 Porovnání systému bez optimalizace a s optimalizací vlastní spotřeby

Na Obr. 6-9 je vidět, že i po optimalizaci vlastní spotřeby budou systémem vznikat přebytky, tyto přebytky lze odstranit nastavením Sunny Home Manager 2.0 a softwaru. Tyto přebytky vznikají zejména o víkendech, kdy je mnohem menší požadavek na množství elektrické energie, než je tomu přes týden, jak je lze vidět na charakteru spotřeby na Obr. 6-2.

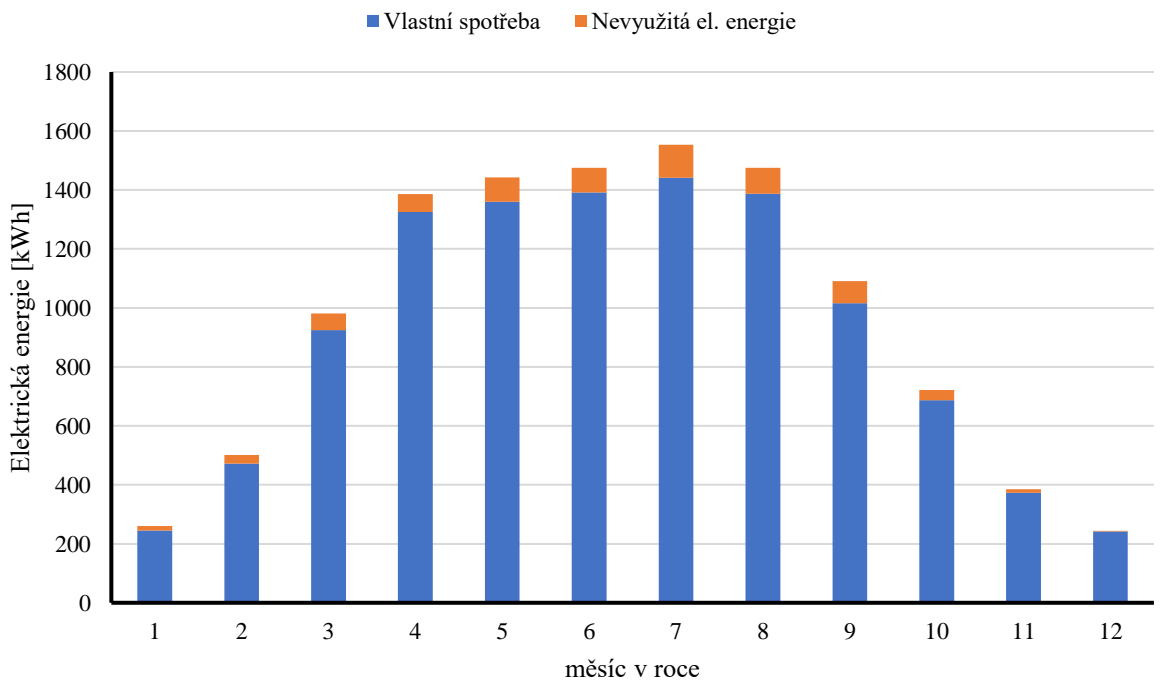
Jako alternativní řešení přebytků elektrické energie se v dnešní době hojně využívají regulátory toku výkonu, jako je např. Wattrouter. Chování tohoto regulátoru při přebytku elektrické energie na straně zdroje bylo ověřeno měřeními a je popsáno v následující kapitole.

Porovnání vlastní spotřeby a odběru ze sítě



Obr. 7-12 Porovnání vlastní spotřeby a odběru ze sítě

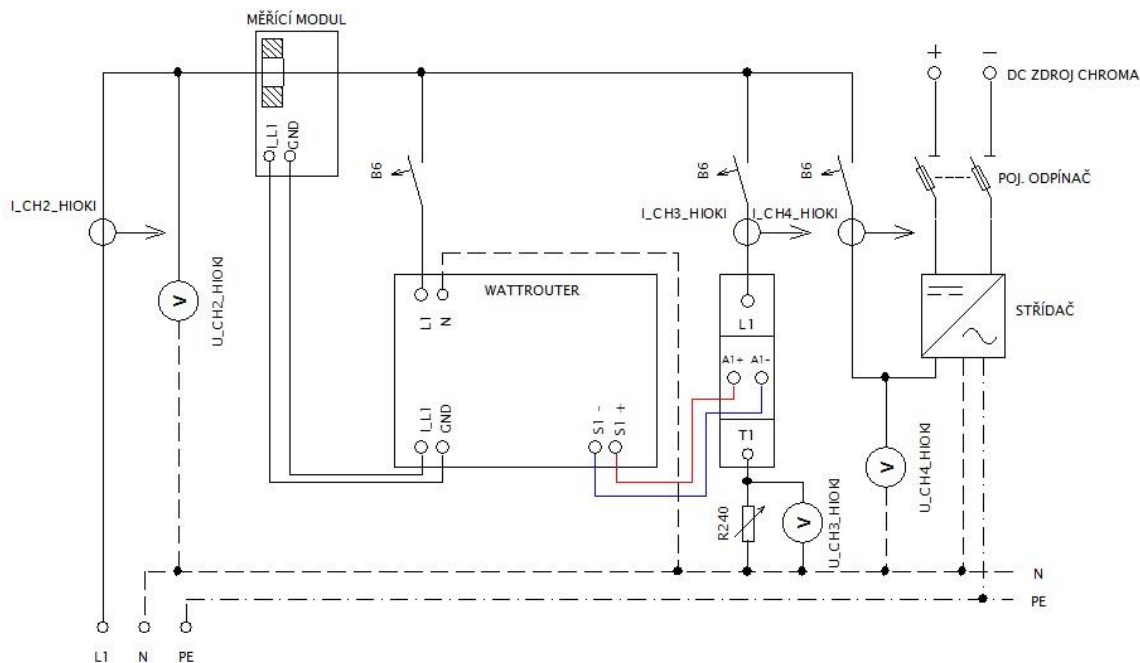
Znázornění nevyužitá el. energie (přebytku)



Obr. 7-13 Znázornění přebytků elektrické energie

8 OVĚŘENÍ ČINNOSTI REGULÁTORU TOKU VÝKONU

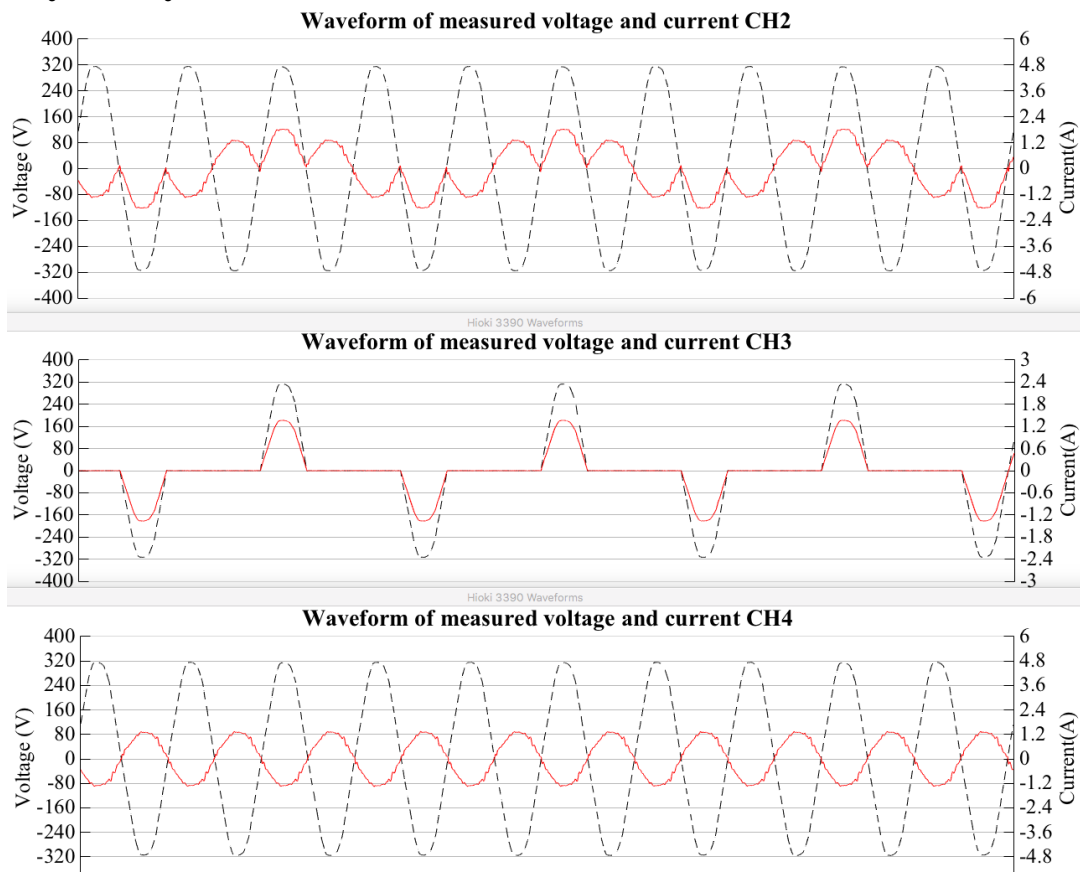
Pro ověření řídicích funkcí byl použit Wattrouter CWx společně s měřícím modulem. Schéma zapojení pro měření je uvedeno v následujícím obrázku.



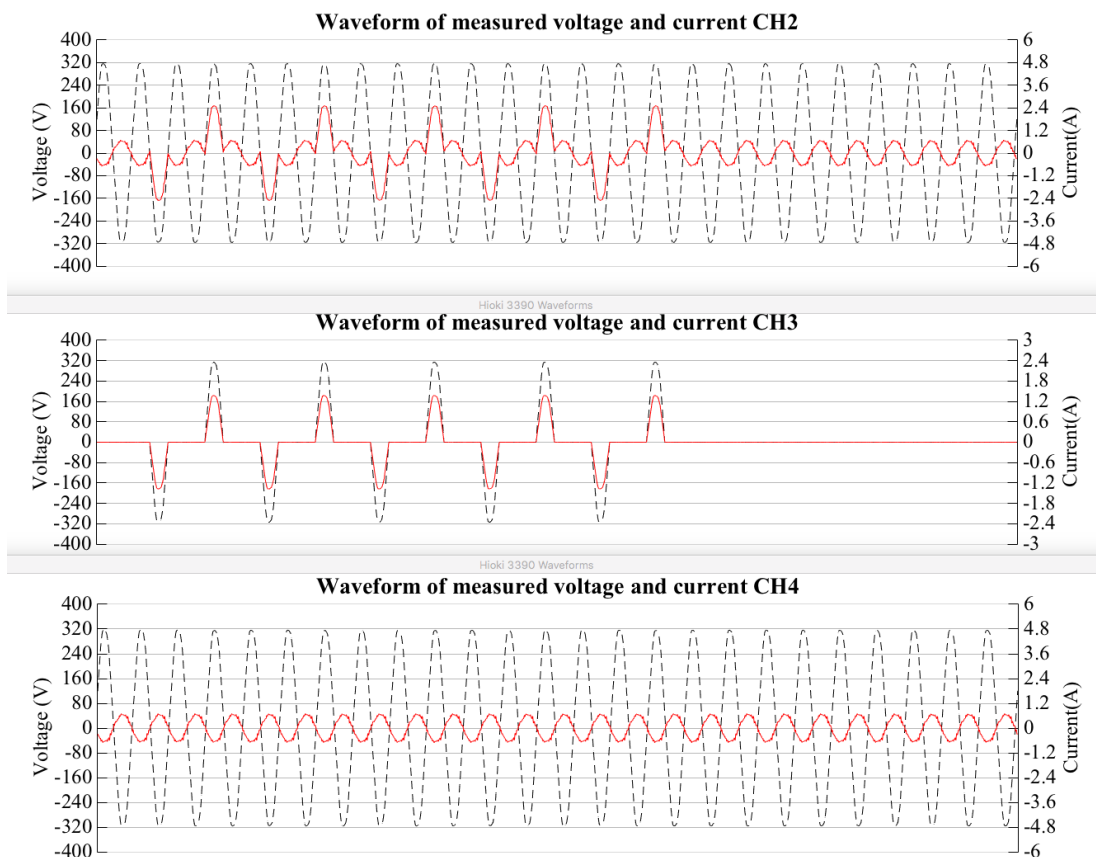
Obr. 8-1 Schéma zapojení pro měření na wattrouteru

Měřící modul měří v reálném čase na jedné nebo více fázích proudy a napětí, pokud je zjištěna výroba na straně FV zdroje, tak spíná připojenou zátěž podle nastavených priorit. Regulátor se snaží neustále udržovat nulový tok energie elektroměrem, a to buď udržením virtuální nuly nebo fyzikálně nulový tok energie. K udržení virtuální nuly je potřeba plynule přizpůsobovat okamžitý příkon zvolených spotřebičů velikosti přebytku. Toto přizpůsobení je zajištěno pomocí SSR relé. Regulaci zajišťuje P-I regulátor, který měří činnou složku proudu tekoucí mezi odběrem a sítí. Energie je následně spotřebována tak, aby tok energie přes elektroměr byl nulový. Pokud dojde k poklesu na FV zdroji, tak se tato nerovnováha řeší dosažením fiktivní energetické rovnováhy pomocí PWR. Výstupní signál PI regulátoru řídí střidu spínání pomocí SSR a tímto umí zajistit virtuální řízení zátěží připojených na SSR. Fyzikální nula je zajištěna postupným připojováním jednotlivých zátěží, jakmile regulátor dosáhne maximální meze svého výstupu, čímž je zamezeno plynulé regulaci podle virtuální nuly, tak provede korekci počtu připojených zátěží tak, že podle potřeby připojí, nebo odpojí připojenou zátěž dle nastavených priorit [15].

8.1 Výsledky měření



Obr. 8-2 Výsledky měření na wattrouteru při jmenovitém výkonu střídače



Obr. 8-3 Výsledky měření na wattrouteru při 50 % jmenovitém výkonu střídače

8.2 Vyhodnocení měření

Měření napětí a proudu v síti bylo na *CH2* měřícího přístroje HIOKI. Jak můžeme vidět z grafů, tak při jmenovité zátěži střídače došlo na *CH3* k postupnému spínání připojené zátěže. Je vidět, že k sepnutí docházelo v půlperiodách měřeného signálu, to znamená že wattrouter použil síť jako akumulaci, kdy energie tekla směrem do sítě a při sepnutí zátěže zase ze sítě. Jestliže klasicky prodávány elektroměr stihá měřit nejrychleji v sekundách, tak tyto rychlé změny toku energií není schopen zaznamenat, protože se v součtu za jednu periodu rovnají nule, což odpovídá výše popsané teorii. Velikost výkonu tekoucích ze sítě a zpět se z tohoto návrhu nedají určit, protože pokud bychom chtěli z těchto výsledku na vzorkovaných měřícím zařízením HIOKI, tak by chyba měření byla až 20 %, proto je toto měření použito pouze na ukázkou směrů jednotlivých toků. Při snížení výkonu na zdroji na 50 % jmenovitého výkonu střídače se střída spínání časově prodloužila. Jednotlivé spínací procesy mohou mít negativní vliv na přípojné místo v distribuční síti, kdy mohou být tyto poklesy napětí zaznamenány okem, například blikáním žárovek a jedná se o jev zvaný flickr. Na druhou stranu, pokud není legislativně zakázáno používat tyto regulátory toku výkonu, tedy použitím těchto regulátorů uživatelem nejsou překročeny meze popsané v PPDS, je použití těchto zařízení možné. Ve zkratce tedy fyzikálně nedochází k úspoře elektrické energie, ale k dodávce a zase opětovného odběru v tak malém okamžiku, že to nedokáže dnešní elektroměry zaznamenat. Z hlediska finančního tedy může dojít k úspoře elektrické energie, ale zároveň k přispění negativním vlivem na DS. Jedna z myšlenek, jak lépe využít přetoky do sítě, je poklesy napětí v distribuční síti regulovat hybridními měniči, které podle nastavených P-U a Q-U charakteristik, dokáží parametry v síti dodávkou či odběrem jalového výkonu vylepšovat.

8.3 Podmínky PDS

Jelikož byly v předchozím odstavci zmíněny legislativní podmínky, zde jsou uvedeny momentálně platné podmínky, které by měl přípojný bod dodržovat s ohledem na zpětné vlivy na napájecí síť [20].

Změna napětí:	$\Delta U \leq 3\% U_N$ (pro společný napájecí bod v síti nn)
	$\Delta U \leq 2\% U_N$ (pro společný napájecí bod v síti vn a 110 kV)
Dlouhodobý flickr:	$P_{lt} \leq 0,46$ (ve společném napájecím bodě v síti nn a vn)
	$P_{lt} \leq 0,37$ (ve společném napájecím bodě v síti 110 kV)

Další podmínky jsou uvedeny v PPDS, příloha č. 4.

9 EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ NÁVRHU

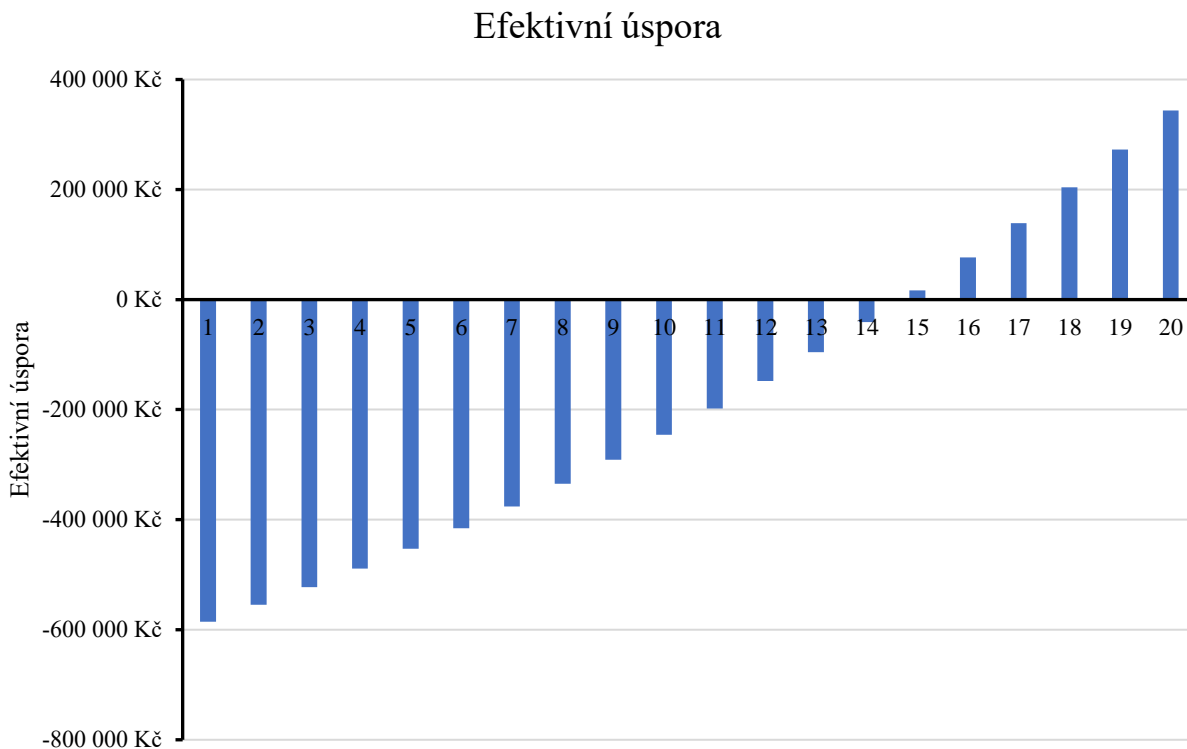
Ceny jednotlivých komponent systému jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 9-1 Ceny prvků systému

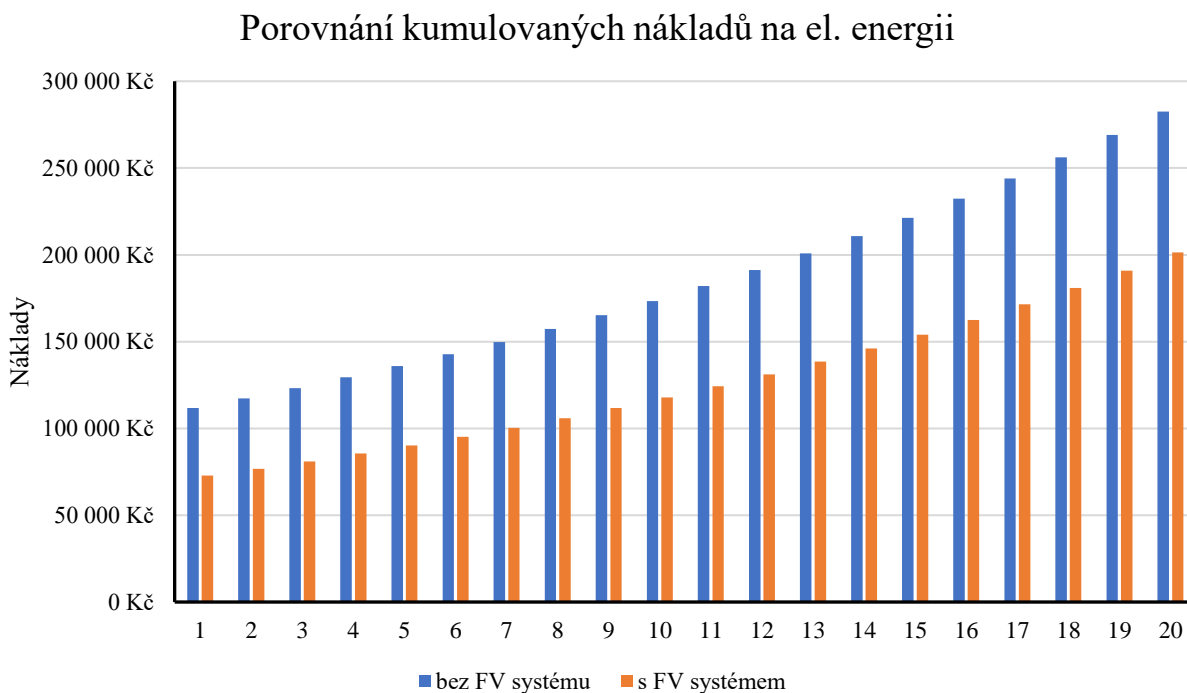
<i>Hlavní prvky systému</i>					
<i>p.č.</i>	<i>název</i>	<i>MJ</i>	<i>Množství celkem</i>	<i>Jednotková cena</i>	<i>Cena celkem</i>
1	Jinko Eagles JKM270PP	ks	40	3 625,00 Kč	145 000,00 Kč
2	Sunny Island 6.0H	ks	1	56 000,00 Kč	56 000,00 Kč
3	Sunny Home Manager 2.0	ks	1	13 000,00 Kč	13 000,00 Kč
4	SB 3000TL-21	ks	4	27 000,00 Kč	108 000,00 Kč
5	BMZ ESS 9.0	ks	2	111 500,00 Kč	223 000,00 Kč
6	DC kabeláž 6mm ²	m	100	30,00 Kč	3 000,00 Kč
7	DC kabeláž 50mm ²	m	10	150,00 Kč	1 500,00 Kč
8	Al trojúhelníky 30° sada	ks	40	580,00 Kč	23 200,00 Kč
9	Al profil	m	60	120,00 Kč	7 200,00 Kč
10	Kotvicí materiál (vruty, šrouby, úchytky)	kpl	1	10 000,00 Kč	10 000,00 Kč
11	Elektromateriál	kpl	1	10 000,00 Kč	10 000,00 Kč
					599 900,00 Kč
<i>Jističí prvky</i>					
12	Pojistkový odpínač	ks	4	1 500,00 Kč	6 000,00 Kč
13	Pojistková vložka	ks	12	350,00 Kč	4 200,00 Kč
14	Přepět'ová ochrana 1000VDC	ks	1	2 300,00 Kč	2 300,00 Kč
15	Nožová pojistka 200A	ks	2	100,00 Kč	200,00 Kč
16	Bateriový odpínač	ks	1	1 250,00 Kč	1 250,00 Kč
17	Jistič B16	ks	4	80,00 Kč	320,00 Kč
18	Jistič B20	ks	1	150,00 Kč	150,00 Kč
					14 420,00 Kč
<i>Cena celkem</i>					614 320,00 Kč

Pro vyhodnocení návratnosti investice byl pro výpočet uvažován tarif c02d pro podnikatele s hlavním jističem do 63 A. Ceny platné pro tento tarif byly použity od společnosti [ČEZ](#) [21].

Dle vypočtené ceny za energii s FV systémem a bez něj byla vypočtena čistá současná hodnota investice a také porovnání kumulovaných nákladů na elektrickou energii. Při těchto výpočtech bylo počítáno s 5 % inflací ceny za elektrickou energii. Roční fixní náklady 10 000 Kč. Degradace výroby elektrické energie 0,5 %.



Obr. 9-1 Efektivní úspora investice po dobu 20 let



Obr. 9-2 Porovnání nákladů na el. energii

Doba návratnosti investice je vypočtena na 14 let. Do výpočtu nebyla zahrnuta částka z poskytnuté dotace, jelikož se částka určuje v rámci komplexního projektu, nebylo možné přesnou částku určit. Po zahrnutí dotace by doba návratnosti mohla být značně zkrácena.

10 ZÁVĚR

V závěrečné práci jsou shrnuty podmínky, které je potřeba splnit pro možnost čerpání dotací pro podnikatele z dotací Evropské Unie v rámci programu úspory. Popsány FV panely, jejich I-V křivky, kde je vidět, jak FV panely reagují na změnu teploty a intenzity slunečního záření. Popsány materiály FV článků a jejich účinnost a použití jednotlivých typů. Popsány jednotlivé topologie systémů, pracujících se sítě, ostrovní provoz a hybridní. Tyto typy jsou znázorněny na blokových schématech. Popsány rozdíly mezi AC a DC couplingem, jejich výhody a nevýhody. Dále jsou popsány střídače, které se používají u FV systémů a jejich funkce pro sledování bodu maximálního výkonu. Popsány možnosti akumulace v hybridních systémech a jak se vypočtou jejich základní parametry. Teoreticky popsán regulátor toku výkonu, konkrétně wattrouter a jeho vlivy na distribuční síť.

V další části práce jsou definovány výpočty, které je potřeba udělat pro správný návrh FV systému, je vypočten rozestup mezi další řadou panelů, minimální a maximální hodnoty napětí pro vstup navrhovaného střídače a na něj zapojených FV panelů. V této části je také popsán výpočet intenzity slunečního záření v nastavené lokalitě, ve zvoleném dni v roce. Všechny výpočty popsané v této části byly zpracovány a dle popsaných podmínek a zjednodušení, která jsou platná pro tyto výpočty, byl napsán program v prostředí MATLAB. Tento program je součástí diplomové práce a je uveden v elektronické příloze k tomuto dokumentu.

Proveden návrh FV systému. Popsána lokalita a konkrétní budova na kterou bude tento návrh proveden, včetně její polohy vůči světovým stranám, jak je odchýlena od jihu a všechny ostatní informace důležité pro návrh. K těmto informacím bylo využito klasických online map, tak katastrálních map, běžně dostupných online, tak konzultace s vlastníkem objektu na místě. Jelikož se FV systém bude instalovat v rámci rekonstrukce objektu, tak pro tento objekt byl proveden odhad spotřeby a to tak, že byly v programu Autocad nakresleno situační schéma budovy, dle platných rozměrů a do něj byly umístěny jednotlivé spotřebiče, které jsou popsány v tabulce, tento výkres je součástí přílohy tohoto dokumentu. Instalovaný výkon jednotlivých spotřebičů je uveden v tabulce. V budově je odhadován provoz v pracovním týdnu a po víkendech je definována spotřeba poloviční, kdy se bude jednat o úklidové a údržbové záležitosti. Tento provoz byl aplikován na křivku TDD v jednom roce a byl dle TDD a odhadovaného průběhu spotřeby pro jeden den vykreslen hodinový průběh spotřeby v jednom roce pro TDD č.1. Jako odhad vyrobené elektrické energie byl použit program „PV-GIS“ do kterého byly zadány parametry systému včetně odhadovaných systémových ztrát systému. Programem „PV-GIS“ byla následně vykresleny jednotlivé hodinové hodnoty výroby v roce pro danou lokalitu a daný kWp výkon systému. Návrh FV systému je proveden pouze pro administrativní část budovy, která je na svém hlavním jističi o jmenovité hodnotě 63 A. Navržený systém je zapojen přes AC coupling a je zvolena stringová topologie zapojení jednotlivých střídačů. Navržený systém se skládá z čtyřiceti polykrystalických panelů o celkovém výkonu 10,8 kWp. Dále je systém složen ze 4 síťových invertorů o jmenovitém výkonu 3 kW, jednom hybridním invertoru, který je schopen dodat 6 kW z baterie po dobu 30 min. Na tento hybridní inverter je připojena baterie o jmenovité kapacitě 17 kWh z čeho je využitelných 80 %. Velikost baterie byla zvolena proto aby byla baterie v létě a o víkendovém dnu, kdy bude největší přebytek energie, tak aby byla schopna ho uložit co nejvíce, protože dle charakteru spotřeby vznikají přebytky zejména o víkendových dnech a v letním období. Součástí navrženého systému je také EMS (Sunny Home Manager 2.0). Tato EMS se stará právě o maximální využitelnost elektrické energie v místě a také zamezuje přetokům do sítě, a to dle datasheetu tak, že pokud zjistí že výroba generovaná FV střídači se nerovná celkové spotřebě včetně uložení do baterie, tak sníží výkon střídačů na 2 % jmenovitého výkonu střídačů v reakčním čase od 1,5 do 2,5 s. Tím dojde k omezení výroby ale také k zamezení přetoku do sítě.

Jako alternativní řešení přetoků do sítě byl teoreticky popsán regulátor toku výkonu „wattrouter“ u kterého bylo popsáno reálné chování tohoto regulátoru a jeho negativní vlivy na

distribuční síť. Pro tento regulátor a ověření těchto tvrzení bylo provedeno měření v laboratoři UEEN, přičemž na zobrazených výsledcích jsou vidět jednotlivé toky z a do distribuční sítě v rámci půlperrody. Navržený systém je složen z komerčně prodávaných prvků a je použito zapojení, které je doporučeno výrobcem v datasheetu těchto jednotlivých prvků návrhu. Tedy, jak zdroj, tak akumulátor jsou připojeny paralelně k distribuční soustavě a využívá se externího měření, v tomto případě je to „Sunny Home Manager 2.0“, tento navržený EMS systém je schopen regulovat celé pole střídačů. Tento systém si tedy čte toky energie a na základě toho tlumí výrobu a reguluje akumulaci. U této běžně používané topologie může dojít k oscilacím regulace, kdy se tento EMS snaží utlumit výrobu, navýšit spotřebu akumulací a jak takto balancuje mezi těmito stavy, tak může dojít právě k těmto oscilacím. Protože se jedná o dynamické děje a měření je tedy prováděno po dobu jedné vteřiny, mohou nastat těmito oscilacemi negativní vliv na připojenou DS. Lepší řešení návrhu by mohlo být, pokud by EMS vyčítaly okamžité hodnoty přímo z hybridního invertoru, kdy by musela všechna energie téct přes hybridní invertor, tedy o přetoky energií by se staral nějaký akční prvek, např. hybridní invertor. Pokud by byl tedy zdroj zapojen na výstupu invertoru a invertor by byl schopen monitorovat toky energií, tak by dokázal celkem rychle reagovat na přetoky energie. Tento hybridní invertor by byl přes EMS propojen se sítovými invertory, takže pokud by nebyl schopen pobrat přetok energie, tak by došlo přes EMS k utlumení výroby. Tedy v tomto případě tento EMS plní jen úlohu omezování výroby připojených sítových střídačů a o toky se stará hybridní střídač. Pokud by byl návrh proveden tak, že je hybridní střídač schopen akumulovat, byť po dobu 1 s všechnu energii, která je zdrojem vyrobená, tak by nikdy nemělo dojít k přetoku, protože tento hybridní invertor lze řídit velmi rychle tj. řádově v jednotkách ms. Baterie v tomto systému by tedy musela být navržena tak, aby měla akumulaci schopnost daleko větší, než je výroba v dané větvi za invertorem. Tímto způsobem by tedy mohlo dojít téměř k úplnému zamezení negativních vlivů na DS.

V poslední části práce bylo provedeno ekonomické vyhodnocení navrhovaného systému a to tak, že byly zjištěny reálné ceny jednotlivých komponent systému a byl zhotovena cena investice, která je zhruba 620 000 Kč. Celková spotřebovaná energie bez FV systému je 24,5 MWh/rok a spotřeba se systémem je 13,817 MWh/rok. Dle těchto spotřeb byl zvolen tarif C02d, což je tarif pro klasickou spotřebu s jističem do 3x63 A, u jehož je umožněno připojení výrobní el. energie. Na základě této tarifní ceny byla vypočtena cena za elektrickou energii, kterou by investor zaplatil s tímto systémem a bez něj. Dle této ceny byla zhotovena efektivní úspora za 20 let, která zahrnuje inflaci ceny za elektrickou energii 5 %/rok, dále roční fixní náklady v hodnotě 10 000 Kč. Degradaci systému 0,5 % ročně. Doba návratnosti investice tohoto navrženého systému je 14 let.

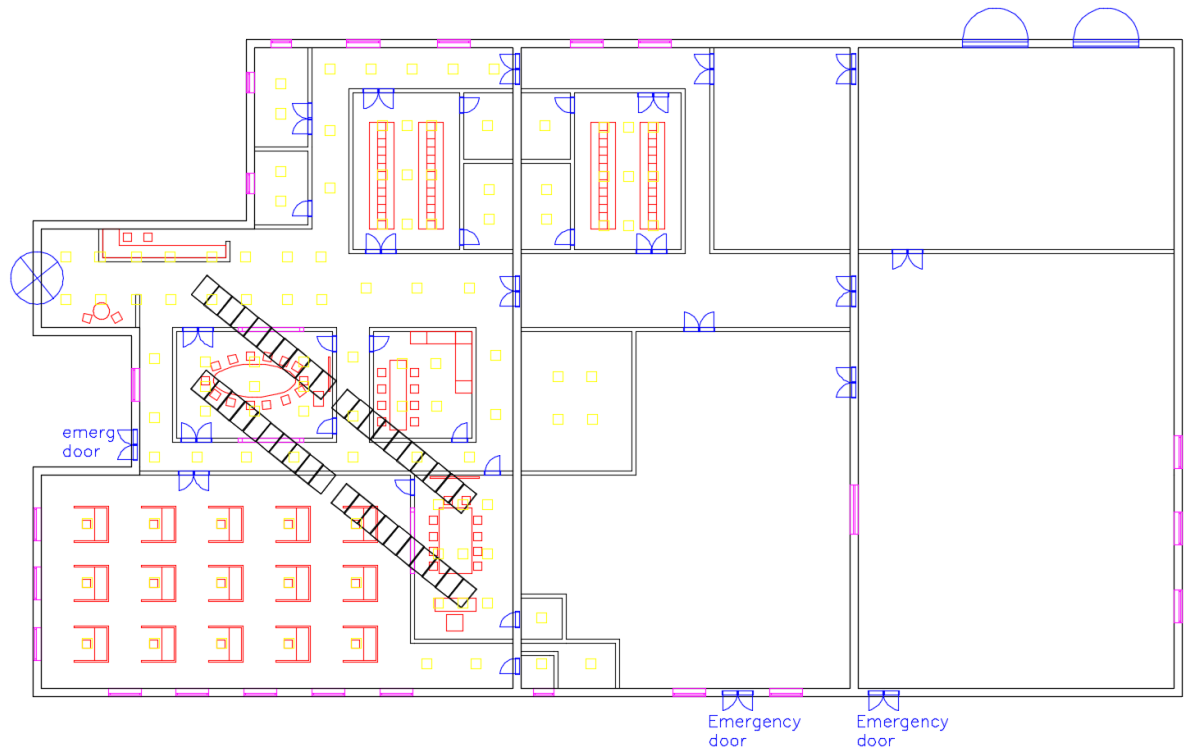
POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Úspory energie: Dotační program. *OPPIK: Informační portál o dotacích pro podnikatele* [online]. [cit. 2017-12-05]. Dostupné z: <http://www.oppik.cz/dotacni-programy/uspory-energie>
- [2] *Úspory energie III. Výzva* [online]. , 24 [cit. 2017-12-05]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/podnikani/dotace-a-podpora-podnikani/oppik-2014-2020/vyzvy-op-pik-2017/2017/11/Uspory-energie_III-Vyzva_finalni-verze_2.pdf
- [3] N. Mbodji, T. A. A. Arisily, A. Hajji, K. Ababou and A. Heddouch, "Optimal design of an off-grid hybrid solar photovoltaic-diesel system in community electrification of a fishing village in Morocco," 2016 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC), Marrakech, 2016, pp. 946-955.
- [4] *FOTOVOLTAIKA: Tzb - energ* [online]. [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: <http://www.tzb-energ.cz/fotovoltaika.html>
- [5] H. Abdel-Gawad and V. K. Sood, "Overview of connection topologies for grid-connected PV systems," 2014 IEEE 27th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), Toronto, ON, 2014, pp. 1-8.
- [6] CLEAN ENERGY REVIEWS: AC vs DC Coupling [online]. [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/ac-coupling-vs-dc-coupling-solar-battery-storage>
- [7] Z. Gao, S. Li, X. Zhou and Y. Ma, "An overview of PV system," 2016 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Harbin, 2016, pp. 587-592.
- [8] CLEAN ENERGY REVIEWS: What is a hybrid solar system? [online]. [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/ac-coupling-vs-dc-coupling-solar-battery-storage>
- [9] N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo and M. Vitelli, "Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 20, no. 4, pp. 963-973, July 2005.
- [10] T. Halder, "A maximum power point tracker (MPPT) using the incremental conductance (INC) technique," 2016 7th India International Conference on Power Electronics (IICPE), Patiala, 2016, pp. 1-6.
- [11] Olověné akumulátory: Informace k Pb bateriím [online]. [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <https://www.avacom.cz/olovene-akumulatory/informace-k-pb-bateriim>
- [12] Současné možnosti akumulace elektrické energie [online]. [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: http://www.tzb-info.cz/docu/clanky/0080/008065_Radil_Baterie.pdf
- [13] JAMIL, Majid, M RIZWAN a D P KOTHARI. *Grid Integration of Solar Photovoltaic Systems* [online]. CRC Press, 2017 [cit. 2018-04-04]. ISBN 1351652419.
- [14] KHATIB, Tamer a Wilfried ELMENREICH. *Modeling of Photovoltaic Systems Using MATLAB®* [online]. 2016 [cit. 2018-05-19]. ISBN 9781119118138.
- [15] Wattrouter Mx - uživatelská příručka [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: http://www.solarcontrols.cz/archives/eshop/WATTrouterMx_CZ.pdf
- [16] *Vyhodnocení kvality napětí při provozu FVE s regulátorem toku energie do sítě* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/236480/mod_resource/content/3/2017-L5.pdf
- [17] Deutsche Gesellschaft Für Sonnenenergie. *Planning and Installing Photovoltaic Systems: A Guide for Installers, Architects and Engineers* [online]. 2012 [cit. 2018-05-19]. ISBN 1136559868.

-
- [18] Planning Guidelines SMA SMART HOME - *The System Solution for Greater Independence* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://files.sma.de/dl/1353/SI-HoMan-PL-en-50.pdf>
- [19] MORÁVEK, Jan. *Procesy řízení v energetických systémech s alternativními zdroji energie* [online]. 2018 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/105952>. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [20] *PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ VÝROBEN A AKUMULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ SE SÍŤÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: https://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/ppds-2017_priloha-4.pdf
- [21] *ČEZ PRODEJ* [online]. 2016 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2016/cez_cz_ele_cenikmop_2016-01-01_comfort.pdf
- [22] SMA. *Design of a PV Plant* [online]. 2013 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://files.sma.de/dl/1354/DC-PL-en-11.pdf>

PŘÍLOHY

Půdorys objektu v prostředí autocad



FV panely Jinko Eagles

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM255PP		JKM260PP		JKM265PP		JKM270PP	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	255Wp	190Wp	260Wp	194Wp	265Wp	198Wp	270Wp	202Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	30.8V	28.1V	31.1V	28.3V	31.4V	28.7V	31.7V	29.0V
Maximum Power Current (Imp)	8.28A	6.75A	8.37A	6.84A	8.44A	6.91A	8.52A	6.97A
Open-circuit Voltage (Voc)	38.0V	35.0V	38.1V	35.1V	38.6V	35.3V	38.8V	35.6V
Short-circuit Current (Isc)	8.92A	7.22A	8.98A	7.26A	9.03A	7.31A	9.09A	7.35A
Module Efficiency STC (%)	15.58%		15.89%		16.19%		16.50%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C							
Maximum system voltage	1000VDC (IEC)							
Maximum series fuse rating	15A							
Power tolerance	0~+3%							
Temperature coefficients of Pmax	-0.40%/°C							
Temperature coefficients of Voc	-0.30%/°C							
Temperature coefficients of Isc	0.06%/°C							
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C							

STC:  Irradiance 1000W/m²  Cell Temperature 25°C  AM=1.5

NOCT:  Irradiance 800W/m²  Ambient Temperature 20°C  AM=1.5  Wind Speed 1m/s

* Power measurement tolerance: ± 3%

The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. EN-MKT-270PP_rev2015

Střídač SunnyBoy3000TL-21

	SB 3000TL-21	SB 3600TL-21
Maximum DC power at $\cos \varphi = 1$	3,200 W	3,880 W
Maximum input voltage	750 V	750 V
MPP voltage range	175 V to 500 V	175 V to 500 V
Rated input voltage	400 V	400 V
Minimum input voltage	125 V	125 V
Initial input voltage	150 V	150 V
Maximum input current, input A	15 A	15 A
Maximum input current, input B	15 A	15 A
Maximum short-circuit current per input*	20 A	20 A
Maximum reverse current from the inverter in the system for max. 1 ms	0 A	0 A
Number of independent MPP inputs	2	2
Strings per MPP input	2	2
Overvoltage category in accordance with IEC 60664-1	II	II

* In accordance with IEC 62109-2: $I_{SC PV}$

AC Output

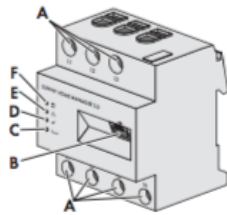
	SB 3000TL-21	SB 3600TL-21
Rated power at 230 V, 50 Hz	3,000 W	3,680 W
Maximum apparent AC power	3,000 VA	3,680 VA
Rated grid voltage	230 V	230 V
Nominal AC voltage	220 V / 230 V / 240 V	220 V / 230 V / 240 V
AC voltage range*	180 V to 280 V	180 V to 280 V
Nominal AC current at 220 V	13.6 A	16.0 A
Nominal AC current at 230 V	13.0 A	16.0 A
Nominal AC current at 240 V	12.5 A	15.3 A

Hybridní střídač Sunny Island 6.0 H

Technical Data	Sunny Island 4.4M	Sunny Island 6.0H	Sunny Island 8.0H
Operation on the utility grid or generator			
Rated grid voltage / AC voltage range	230 V / 172.5 V to 264.5 V		
Rated grid frequency / permitted frequency range	50 Hz / 40 Hz to 70 Hz		
Maximum AC current for increased self-consumption (grid operation)	14.5 A	20 A	26 A
Maximum AC power for increased self-consumption (grid operation)	3.3 kVA	4.6 kVA	6 kVA
Maximum AC input current	50 A	50 A	50 A
Maximum AC input power	11500 W	11500 W	11500 W
Stand-alone or emergency power operation			
Rated grid voltage / AC voltage range	230 V / 202 V to 253 V		
Rated frequency / frequency range (adjustable)	50 Hz / 45 Hz to 65 Hz		
Rated power (at Unom, from / 25 °C / cos φ = 1)	3300 W	4600 W	6000 W
AC power at 25 °C for 30 min / 5 min / 3 sec	4400 W / 4600 W / 5500 W	6000 W / 6800 W / 11000 W	8000 W / 9100 W / 11000 W
AC power at 45 °C continuously	3000 W	3700 W	5430 W
Rated current / maximum output current (peak)	14.5 A / 60 A	20 A / 120 A	26 A / 120 A
Total harmonic distortion output voltage / power factor at rated power	< 5% / -1 to +1	< 1.5% / -1 to +1	< 1.5% / -1 to +1
Battery DC input			
Rated input voltage / DC voltage range	48 V / 41 V to 63 V	48 V / 41 V to 63 V	48 V / 41 V to 63 V
Maximum battery charging current / rated DC charging current / DC discharging current	75 A / 63 A / 75 A	110 A / 90 A / 103 A	140 A / 115 A / 130 A
Battery type / battery capacity (range)	Li-Ion ¹⁾ , FLA, VRLA / 100 Ah to 10000 Ah (lead-acid) 50 Ah to 10000 Ah (Li-Ion)		
Charge control	IUoU charge procedure with automatic full charge and equalization charge		
Efficiency / self-consumption of the device			
Maximum efficiency	95.5%	95.8%	95.8%
No-load consumption / standby	18 W / 6.8 W	25.8 W / 6.5 W	25.8 W / 6.5 W
Protective devices (equipment)			
AC short-circuit / AC overload	● / ●		
DC reverse polarity protection / DC fuse	- / -		
Overtemperature / battery deep discharge	● / ●		
Overvoltage category as per IEC 60664-1	III		
General Data			
Dimensions (W / H / D)	467 mm / 612 mm / 242 mm (18.4 inches / 21.1 inches / 9.5 inches)		
Weight	44 kg (97 lbs)	63 kg (138.9 lbs)	63 kg (138.9 lbs)
Operating temperature range	-25 °C to +60 °C (-13 °F to +140 °F)		
Protection class in accordance with IEC 62103	I		
Climatic category as per IEC 60721	3K6		
Degree of protection according to IEC 60529	IP54		
Features/function			
WLAN, Speedwire / Webconnect / SI-SYSCAN (Multicluster)	● / ● / -	● / ● / ○	● / ● / ○
Micro SD memory card for extended data logging	○		
Display via smartphone, tablet, laptop / multifunction relay	● / 2		
Three-phase systems (including rotating magnetic field) / battery-backup function	● / ●		
State of charge calculation / full charge / equalization charge	● / ● / ●		
Battery temperature sensor / data cables	○ / ●		
Certificates and approvals	www.SMA-Solar.com		
Cover color yellow / aluminum white	○ / ○		
Warranty 5/10 years	● / ● ³⁾		
For off-grid applications			
Automatic rotating magnetic field detection / generator support	● / ●		
Parallel connection / Multicluster	- / -	● / ●	● / ●
Integrated soft start	●		

Sunny Home Manager 2.0

PRODUCT DESCRIPTION



- A: Connection area for line conductors and neutral conductor
- B: Network terminal (Ethernet)
- C: Reset button
- D: Performance LED
- E: COM LED
- F: Status LED

SCOPE OF DELIVERY

- 1 x Sunny Home Manager 2.0 (HM-20)
 - 1 x quick reference guide
- Contact your specialist dealer if you find any damage.

TECHNICAL DATA

Communication	Ethernet
Nominal voltage	230 V AC / 400 V AC
Frequency	50 Hz (± 5%)
Self-consumption	< 3 W
Limiting current / line conductor	63 A
Connection cross-section with current transformers	See recommendations of the current transformer manufacturer
Connection cross-section without current transformers	10 mm ² to 16 mm ²
Max. cable length with current transformers	3 m
Torque for screw terminals	2 Nm
Weight	0.30 kg
Dimensions [W x H x D]	70 mm x 88 mm x 65 mm
Ambient temperature in operation	-25 °C to +40 °C
Ambient temperature during transport/storage	-25 °C to +70 °C
Relative humidity*	5% to 90%
Maximum operating altitude above mean sea level	2000 m
Protection class	II
Degree of protection**	IP2X

* non-condensing

** in accordance with IEC 60529

LED SIGNALS

Status LED ():

- **Glowing green:** Sunny Home Manager 2.0 is switched on.
- **Flashing green:** Firmware is being updated.
- **Glowing red:** Sunny Home Manager 2.0 is starting up.
- **Flashing red:** An error has occurred.

COM LED ():

- **Off:** No Ethernet connection established.
- **Glowing green:** Ethernet connection established.
- **Flashing green:** The Sunny Home Manager 2.0 is sending or receiving data.

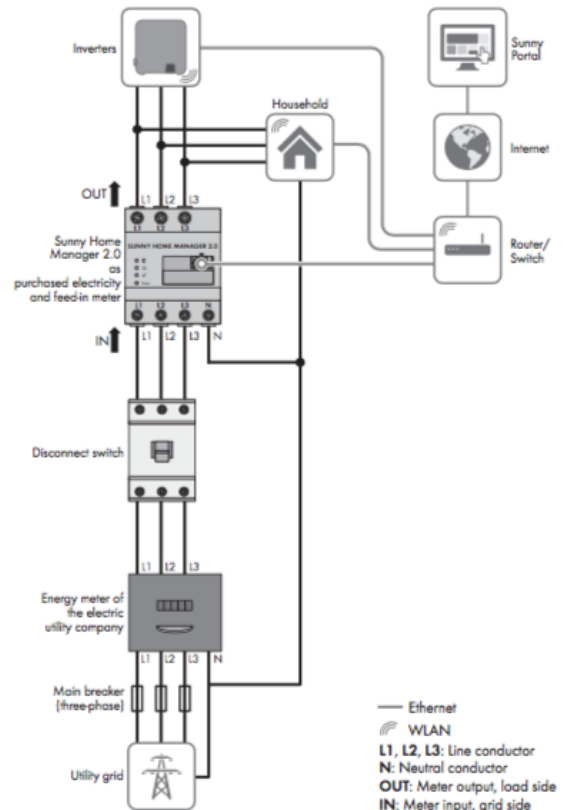
INFORMATION ON CONNECTION AND COMMISSIONING

- The Sunny Home Manager 2.0 is supplied with current via the line conductor L1. At least the line conductor L1 and the neutral conductor must be connected in order that the Sunny Home Manager 2.0 switches on.
- When using fine stranded wire, bootlace ferrules must be used.
- The screw terminals must be retightened after six to eight weeks.

ELECTRICAL CONNECTION FOR APPLICATIONS UP TO 63 A

Installation using the integrated measuring unit

The following figure shows a connection example in TN and TT grid configurations in the case of installation at the grid-connection point when using the integrated measuring unit (recommended). For exact connection specifications, contact your electric utility company.



Procedure:

1. Connect the conductors to the Sunny Home Manager 2.0. Observe the permitted connection cross-section and torque for screw terminals (see Section "Technical Data"):
 - In a three-phase utility grid, connect the line conductors L1, L2 and L3 and the neutral conductor to the Sunny Home Manager 2.0 in accordance with the wiring diagram.
 - In a single-phase utility grid, connect the line conductor L1 and the neutral conductor to the Sunny Home Manager 2.0 in accordance with the wiring diagram.

SMA Solar Technology AG

BMZ baterie

TECHNICAL PROPERTIES OF A SINGLE MODULE

GENERAL PROPERTIES	ESS 7.0	ESS 9.0	ESS X
Energy (nom./usable)	6.74 kWh/5.39 kWh	8.5 kWh/6.8 kWh	10.06 kWh/8.05 kWh
Nominal voltage	55.5 V	54.0 V	54.0 V
Charge end voltage	61.5 V	61.5 V	61.5 V
Discharge end voltage	45.0 V	45.0 V	45.0 V
Capacity (nom./usable)	121.5 Ah/ 97.2 Ah	156.6 Ah/125.3 Ah	186.3 Ah/149.1 Ah
Max. charge	90 A	90 A	90 A
Max. discharge current	300 A (3 sec)	300 A (3 sec)	300 A (3 sec)
Max. discharge power	18 kW*	18 kW*	18 kW*
Weight	95 kg	97 kg	99 kg
Dimensions (W x H x D)	638 x 421 x 487 mm	638 x 421 x 487 mm	638 x 421 x 487 mm
Communication	CAN – SMA ready	CAN – SMA ready	CAN – SMA ready
Battery chemistry	Li-Ion NMC	Li-Ion NCA	Li-Ion NCA
Discharge depth	80% DOD	80% DOD	80% DOD
Full cycles	5,000	5,000	5,000
Battery Management System	Monitoring of cell voltage, cell temperature, current, derating and passive balancing		

PERFORMANCE DATA

Energy density (weight)	71 Wh/kg	87.6 Wh/kg	101.6 Wh/kg
-------------------------	----------	------------	-------------

DEVELOPED ACCORDING TO THE STANDARDS AND USER GUIDELINES FOR STATIONARY ENERGY STORAGE SYSTEMS

- VDE-AR-E 2510-50
- VDE-AR-E 2510-2
- DIN EN 62619 (draft)
- FNN note (04/2016 version)



ESS 7.0/9.0/X

USER INFORMATION

- Discharge temperature (cells): 2 °C to +45 °C
- Charge temperature (cells): 2 °C to +45 °C
- Recommended storage temperature: 10 °C to 25 °C
- Self discharge (cells): ca. 2 % per year
- Stand-by consumption: Active mode 5 W / Sleep mode 0.126 W
- Max. parallel connection (of batteries): 12 (additional hardware required)
- Protection class: IP 21
- European Conformity (CE): yes
- UN-test 38.3: yes
- Warranty: 10 year warranty covering the system's current value (not in all countries)

*depends on the respective inverter