VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

VYUŽITÍ FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ V OFF-GRID APLIKACÍCH

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE Bc. MICHAL STRAKA
AUTHOR

BRNO 2012

VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student:	Bc. Michal Straka	***ID:***	106793
Ročník:	2	***Akademický rok:***	2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Využití fotovoltaických systémů v Off-grid aplikacích

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Úvod do fotovoltaických systémů, současné technologie.
2. Výkonový a energetický potenciál grid off systémů, odhad aplikace.
3. Dimenzování fotovoltaického systému pro autonomní provoz.
4. Návrh jednoduchého programu pro podporu tvorby off grid solárního systému.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání:	6.2.2012	***Termín odevzdání:***	18.5.2012

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.
Konzultanti diplomové práce:

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:

STRAKA, M. *Využití fotovoltaických systémů v Off-grid aplikacích.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012, 75 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

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

……

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

VYUŽITÍ FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ V OFF-GRID APLIKACÍCH

USING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN OFF-GRID APPLICATIONS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER´S THESIS

AUTOR PRÁCE Bc. MICHAL STRAKA
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE doc. Ing. PETR BAXANT, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2012

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá užitím fotovoltaických ostrovních systémů. Nejprve jsou objasněny problémy spojené s výkonovým a energetickým potenciálem, jednotlivé komponenty fotovoltaického systému, dimenzování fotovoltaických systémů pro autonomní provoz a finanční vyhodnocení. Výsledkem diplomové práce je vytvoření aplikace, sloužící k návrhu ostrovního systému v celém výkonovém rozsahu (od výkonově nejmenších systémů až po domovní aplikace). V závěru diplomové práce je proveden návrh tří rozdílných typových projektů pomocí námi vytvořené aplikace a jeho finanční zhodnocení – zahradní domek, rodinná chata a rodinný dům.

KLÍČOVÁ SLOVA: fotovoltaická elektrárna; ostrovní fotovoltaický systém; hybridní fotovoltaický systém, off-grid, akumulace energie

ABSTRACT

This masters thesis deals with the use of off-grid photovoltaic systems. First we explain the problems associated with the power and energy potential of photovoltaic system components, design of photovoltaic systems for autonomous operation and the financial evaluation. The result of the masters thesis is to create an application used to design the island system in the whole output range (the smallest power systems to house systems application). The conclusion of the masters thesis is devoted to designing three type of projects from our application – a garden cottage, a family cottage and the house.

KEY WORDS: photovoltaic power plant; photovoltaic island system; hybrid photovoltaic system; off-grid; energy storage

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ 9
SEZNAM TABULEK 10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK 11
1. ÚVOD…… 13
2. CÍLE PRÁCE 15
3. VÝKONOVÝ A ENERGETICKÝ POTENCIÁL 16
3.1 DĚLENÍ FV SYSTÉMŮ DLE INSTALOVANÉHO VÝKONU 16
4. JEDNOTLIVÉ KOMPONENTY FV SYSTÉMU 18
4.1 FOTOVOLTAICKÉ PANELY 18
4.2 SOLÁRNÍ REGULÁTORY 20
4.3 AKUMULÁTORY 22
4.3.1 Olověné akumulátory 22
4.3.2 Lithium-železo-fosfátové akumulátory ($LiFePO_4$) 24
4.3.3 Srovnání olověných a $LiFePO_4$ akumulátorů 25
4.4 MĚNIČE NAPĚTÍ 25
4.4.1 Hybridní měniče napětí 26
4.5 SPOTŘEBIČE VYUŽÍVANÉ V OSTROVNÍM SYSTÉMU 26
4.5.1 Spotřebiče na stejnosměrné napětí 26
4.5.2 Spotřebiče na střídavé napětí 27
4.6 PODPŮRNÉ PROSTŘEDKY 27
4.7 SPOLEHLIVOST JEDNOTLIVÝCH KOMPONENTŮ 28
5. DIMENZOVÁNÍ FV SYSTÉMŮ PRO AUTONOMNÍ PROVOZ 29
5.1 DIMENZOVÁNÍ JEDNOTLIVÝCH KOMPONENTŮ 31
5.1.1 Dimenzování akumulátorů 31
5.1.2 Dimenzování fotovoltaických panelů 32
5.1.3 Dimenzování měničů napětí a solárních regulátorů 32
6. SESTAVENÍ EXCELOVSKÉ APLIKACE (OFVMS) PRO NÁVRH FVE V OSTROVNÍM REŽIMU…. 34
6.1 DATABÁZE JEDNOTLIVÝCH KOMPONENTŮ 34
6.2 VÝPOČETNÍ MECHANIZMUS APLIKACE 37
6.3 VÝSTUPNÍ LIST 41
7. NÁVRH OSTROVNÍHO FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU 42
7.1 ZAHRADNÍ DOMEK 42

7.2 RODINNÁ CHATA **45**

7.3 RODINNÝ DŮM **46**

8. FINANČNÍ VYHODNOCENÍ **49**

8.1 METODY PRO URČENÍ ZISKOVOSTI PROJEKTU **49**

8.1.1 Metoda čisté současné hodnoty (Net Present Value) 49

8.1.2 Metoda indexu rentability (Profitability Index) 49

8.1.3 Metoda vnitřního výnosového procenta (Internal Rate of Return) 50

8.1.4 Metoda doby návratnosti projektu (Payback Period) 50

8.1.5 Metoda diskontovaných nákladů 51

8.2 VYHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH INVESTIČNÍCH PROJEKTŮ **52**

8.2.1 Zahradní domek 52

8.2.2 Rodinná chata 53

8.2.3 Rodinný dům 54

9. ZÁVĚR…… **55**

POUŽITÁ LITERATURA **58**

PŘÍLOHA A ZAHRADNÍ DOMEK 12V - PB **61**

PŘÍLOHA B ZAHRADNÍ DOMEK 24V - PB **63**

PŘÍLOHA C ZAHRADNÍ DOMEK 24V – LIFEPO$_4$ **65**

PŘÍLOHA D RODINNÁ CHATA **67**

PŘÍLOHA E RODINNÁ CHATA BŘEZEN – ŘÍJEN **69**

PŘÍLOHA F RODINNÝ DŮM **71**

PŘÍLOHA G FINANČNÍ VYHODNOCENÍ – ZAHRADNÍ DOMEK **73**

PŘÍLOHA H FINANČNÍ VYHODNOCENÍ – RODINNÁ CHATA **74**

PŘÍLOHA I FINANČNÍ VYHODNOCENÍ – RODINNÝ DŮM **75**

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Ztráty vzniklé při uchovávání energie. [36] 14

Obr. 3.1 Fotovoltaická nabíječka mobilních telefonů a jeho schématické zobrazení. [7][6] .. 16

Obr. 3.2 Integrované FV panely na střeše karavanu a jeho schématické zobrazení. [8][6] ... 17

Obr. 3.3 Rodinný dům v hybridním systému využívající solární moduly. [9][6] 17

Obr. 4.1 Polykrystalický panel a amorfní panel. [13][14] 18

Obr. 4.2 Grafické vyhodnocení tří fotovoltaických výroben. 19

Obr. 4.3 Jednoduchý solární regulátor. [23] 20

Obr. 4.4 Porovnání V-A charakteristiky obyčejného solárního regulátoru a MPPT měniče. [31] 21

Obr. 4.5 Regulátor nabíjení s MPPT měničem. [10] 21

Obr. 4.6 Vybíjecí charakteristika pro jednotlivé proudy (6FM200D-X12V 187Ah(10hr)). [20] 23

Obr. 4.7 Závislosti teploty a hloubky vybíjení na kapacitě (6FM200D-X12V 187Ah(10hr)). [20] . 24

Obr. 4.8 Lithium-železo-fosfátové akumulátory a jejich provozní napětí na článek. *[19]* 24

Obr. 4.9 Inventor pro malé systémy a nástěnné inventory pro domovní aplikace. [21] [22] .. 25

Obr. 4.10 Možnost aplikací použitelných v systému Foxtrot. [27] 28

Obr. 5.1 Měsíční hodnoty vyrobené energie panelem o výkonu 100 Wp v průběhu roku. 30

Obr. 6.1 Databáze a parametry solárních regulátorů. 34

Obr. 6.2 Databáze a parametry měničů napětí. 35

Obr. 6.4 Databáze a parametry fotovoltaických panelů a elektrocentrál. 36

Obr. 6.5 Databáze a parametry použitých spotřebičů. 37

Obr. 6.6 Výpočet a vyhodnocení výsledků pomocí OFVMS. 38

Obr. 6.7 Tabulka pro zadání systémových parametrů. 38

Obr. 6.8 Volba jednotlivých komponentů. 40

Obr. 6.9 Zobrazení výsledků při návrhu FV systému v ostrovním režimu. 40

Obr. 6.10 Výstupní list. 41

Obr. 7.1 Množství slunečního záření dopadající v ČR. [32] 43

Obr. 7.2 Zadávání parametrů a zobrazené výsledky v programu PVGIS. [31] 44

Obr. 8.1 Průběh diskontovaných nákladů pro jednotlivé varianty FV ostrovního systému. 53

SEZNAM TABULEK

Tab. 4 – 1 FV elektrárny. 18

Tab. 4 – 2 Srovnání technologií užitých v praxi při stejných podmínkách. 20

Tab. 4 – 3 Charakteristické parametry olověných a $LiFePO_4$ akumulátorů.[33] 25

Tab. 5 – 1 Energie vyrobená z fotovoltaického ponelu o výkonu 100 Wp. 29

Tab. 5 – 2 Jmenovitý proud a minimální průřez kabelů pro uvedené příkony při daném U_n. . . 31

Tab. 5 – 3 Ideální sklon fotovoltaických panelů. 32

Tab. 7 – 1 Spotřebiče využité v ostrovním systému pro zahradní chatku. [26][34][35] 42

Tab. 7 – 2 Jednotlivé varianty ostrovního FV systému pro zahradní chatku. 45

Tab. 8 – 1 Finanční vyhodnocení jednotlivých variant pro zahradní domek 52

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

CF_t	plán cash-flow z investičního projektu v jednotlivých letech	[Kč]
C_{min}	kapacita při maximálním vybíjecím proudu	[Ah]
C_{100}	kapacita při 100 h vybíjení	[Ah]
DC	diskontované náklady	[Kč]
i	alternativní náklady kapitálu (úroková míra)	[%]
I_{min}	maximální vybíjecí proud při minimální kapacitě akumulátoru	[A]
I_{max}	maximální proud fotovoltaického panelu	[A]
i_n	nižší hodnota požadované výnosnosti	[%]
IRR	vnitřní výnosové procento	[%]
I_{sc}	velikost zkratového proudu v fotovoltaického panelu	[A]
i_v	vyšší hodnota požadované výnosnosti	[%]
I_{100}	proud při 100 h vybíjení	[A]
k	Peukertova konstanta	[-]
K_i	investiční náklady	[Kč]
n	doba životnosti investičního projektu	[rok]
N_p^A	součet diskontovaných ročních provozních nákladů	[Kč]
NPV	čistá současná hodnota	[Kč]
NPV_n	čistá současná hodnota projektu při nižší diskontní míře (kladná)	[Kč]
NPV_v	čistá současná hodnota projektu při vyšší diskontní míře (záporná)	[Kč]
P	jmenovitý výkon panelu	[W]
P_t	příjem z investice v jednotlivých letech životnosti	[Kč]
t	jednotlivé roky životnosti investičního projektu	[-]
U_{max}	maximální napětí fotovoltaického panelu	[V]
U_{min}	minimální napětí akumulátoru	[V]
$U_{(min)}$	velikost napětí u vybitého akum. v případě max. vybíjecího proudu	[A]
U_n	jmenovité napětí	[V]
U_{0c}	velikost napětí naprázdno fotovoltaického panelu	[V]
$U_{(100)}$	velikost napětí u vybitém akumulátoru při 100 h vybíjení	[V]

AGM	absorbed glass matt
BMS	battery management Systém
DC	direct curent
DoD	depth of discharge
DN	doba návratnosti
EC	elektrocentrála
FV	fotovoltaický
FVE	fotovoltaivká elektrárna
GO	galvanické oddělení
HDS	hlavní domovní skříň
IRR	vnitřní výnosové procento

LED	light - emitting diode
$LiFePO_4$	Lithium železo fosfát
MPPT	maximum power point tracking
NiCd	Nikl Cadmium
NiFe	Nikl železo
OFVMS	aplikace sloužící pro návrh ostrovního fotovoltaického systému
PPT	power point tracking
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System
RD	rodinný dům
UPS	uninterruptible power supply
VRLA	Valve Regulated Lead Acid batteries

1. ÚVOD

V diplomové práci bych chtěl navázat na bakalářskou práci, kterou jsem vypracovával na téma návrh fotovoltaického systému na střeše rodinného domu připojeného paralelně k distribuční síti. Projekt byl zrealizován a dle dosavadních naměřených hodnot vyrobené energie odpovídá předpokladům stanoveným v bakalářské práci.

Jako ostrovní napájecí systém je označován systém, který není propojen s distribuční soustavou a pracuje na této soustavě nezávisle. Ostrovní napájecí systémy se používají k zásobování elektrickou energií v případech, kdy využití běžné distribuční sítě není vhodné nebo není ani technicky možné. Takových příčin lze nalézt mnoho, jako příklad uveďme jen ty hlavní:

– připojení k distribuční síti není možné z důvodu vysoké ceny za zřízení elektrické přípojky (geografická poloha),

– rozhodnutí spotřebitele o využívání obnovitelných zdrojů elektrické energie,

– nízké provozní náklady,

– velmi nízký vliv na životní prostředí,

– nulové emise škodlivých plynů,

– nezávislost na distribuční soustavě.

V současné době lze zaznamenat poměrně velký nárůst zájmu o využití ostrovních systémů, což úzce souvisí s rozmachem instalací obnovitelných zdrojů elektrické energie, které se jeví jako vhodné zdroje právě pro ostrovní napájecí systémy. Mezi zdroje, které jsou vhodné k využití pro napájení ostrovních systémů, jsou řazeny:

– větrné elektrárny,

– fotovoltaické systémy,

– dieselgenerátory,

– malé vodní elektrárny,

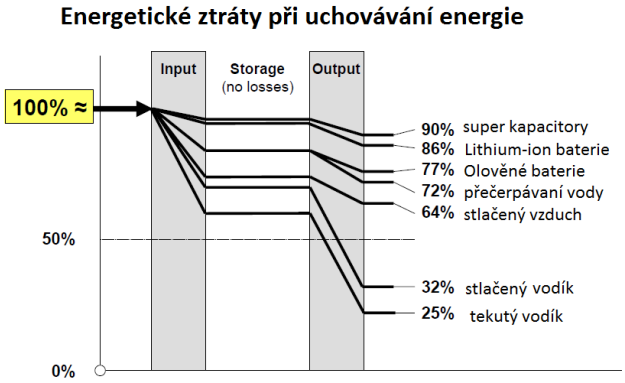
– bioplynové agregáty,

– palivové články.

Volba typu napájecího zdroje je závislá na geografických a meteorologických podmínkách lokality, kde má být ostrovní systém umístěn. Jsou-li jako zdroj pro ostrovní systém využity dva a více ze jmenovaných typů zdrojů, je takovýto systém označován za hybridní. [1]

Při správném nadimenzování ostrovního fotovoltaického systému je dodávka energie kontinuální a bezvadná po celou dobu provozu systému s minimálními údržbovými pracemi. Fotovoltaické systémy jsou preferovány především z důvodu velké dostupnosti slunečního záření.

Dalším podstatným prvkem je výběr vhodného zařízení na uchovávání elektrické energie na dobu se sníženou intenzitou sluneční radiace. Jak je patrné z obrázku 1.1 mezi technologie s nejmenšími ztrátami patří jak velmi často využívané olověné baterie, tak nastupující generace Lithium-ion baterie. Z obrázku 1.1 vyplývá, že akumulace do vodíku je z hlediska ztrát velice nepříznivá a tudíž se od této technologie v posledních letech odstupuje. Jak je patrné nejen z automobilového průmyslu, nejbližší budoucnost v oblasti akumulace energie patří $LiFePO_4$ akumulátorům.



Obr. 1.1 Ztráty vzniklé při uchovávání energie. [36]

2. CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem práce je sestavení aplikace sloužící k návrhu ostrovního fotovoltaického systému. Na tuto aplikaci je kladen požadavek na možnost porovnání jednotlivých alternativ při sestavování systému pro konkrétní zadání.

Jako dílčím cílem práce je k této aplikaci provést teoretický úvod, který se bude skládat z pěti částí. V první části provedeme výkonové rozdělení fotovoltaických systémů v ostrovním režimu a energetický potenciál těchto systémů. Další velmi podstatnou částí bude podrobný popis použitých komponentů a jejich možných parametrů. Třetí část by měla zobrazovat popis dimenzování ostrovního systému a jeho možné postupy. Ve čtvrté části provedeme popis námi navržené aplikace a také popíšeme výpočetní mechanizmus, který se bude odvíjet z předcházející kapitoly. V poslední části provedeme konkrétní návrh tří systémů vytvořených na základě požadavků od majitelů objektu.

3. VÝKONOVÝ A ENERGETICKÝ POTENCIÁL

Podle velikosti instalovaného výkonu jednotlivých fotovoltaických elektráren lze ostrovní systémy využít k napájení od kapesních systémů přes malé zařízení o výkonu v řádech stovek wattů, až po zařízení použité k napájení obytných budov, kde připojená zátěž má výkon v řádech kilowattů. Vše závisí na instalovaném výkonu jednotlivých zdrojů, typu a velikosti akumulačního zařízení a na zařízeních, která mají být ostrovním systémem napájena.

Z důvodu závislosti FV systému na meteorologických podmínkách v lokalitě, kde je instalován, je nutné optimalizovat systém. Při správné optimalizaci dochází ke snížení investičních nákladů a současně lze plně využívat potenciál fotovoltaické elektrárny. [1]

3.1 Dělení FV systémů dle instalovaného výkonu

Aplikace pro ostrovní fotovoltaický systém jsou dimenzovány od výkonu jednotek wattů do hodnot řádově jednotek kilowattů. Přičemž každý ze systémů používá rozdílnou kombinaci prvků a zařízení tak, aby dosáhl co nejefektivnějšího provozu a v neposlední řadě nejlepšího poměru cena/komfort. Všechny tři kategorie obsahují FV generátory, regulátory a spotřebič. Ve většině případů i zařízení k uchování elektrické energie. Z důvodu zvýšení komfortu obsahují domovní aplikace další prvky systému. Jednotlivé prvky jsou popsány v kapitole 5.

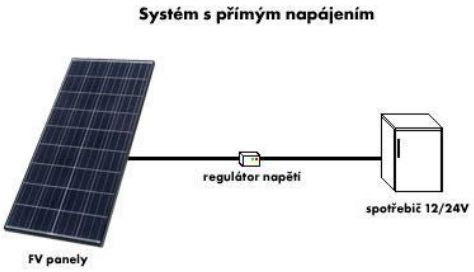
Dělení jsme provedli do tří kategorií:

Kapesní aplikace

Malé systémy

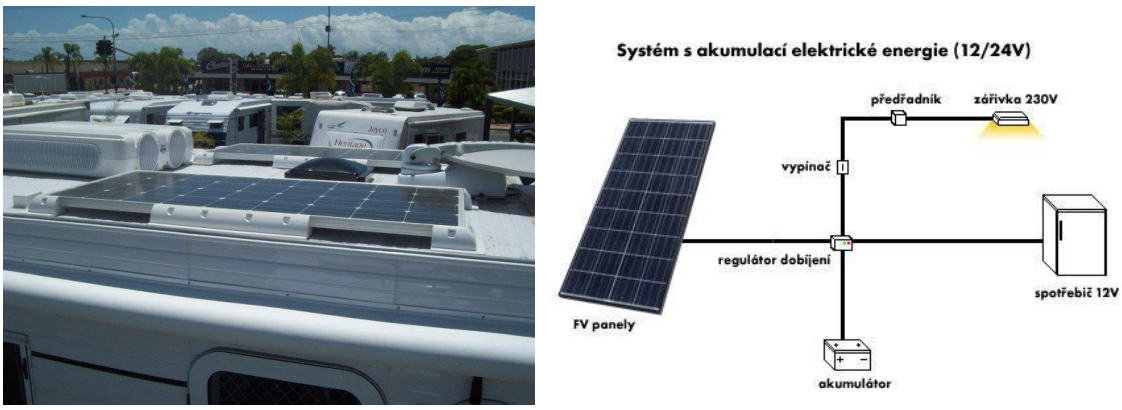
Domovní aplikace

Jako typický představitel kapesních systémů jsou kalkulátory, kde jsou umístěny fotovaltaické články, které prodlužují životnost baterie. V dnešní době jsou již běžnou součástí fotovoltaické nabíjecí systémy na mobilní telefony, pda nebo notebooky. U těchto systémů je charakteristické, že fungují pouze v době s dostatečnou sluneční intenzitou. Výstupní stejnosměrné napětí je 12, respektive 24 V.



Obr. 3.1 Fotovoltaická nabíječka mobilních telefonů a jeho schématické zobrazení. [7] [6]

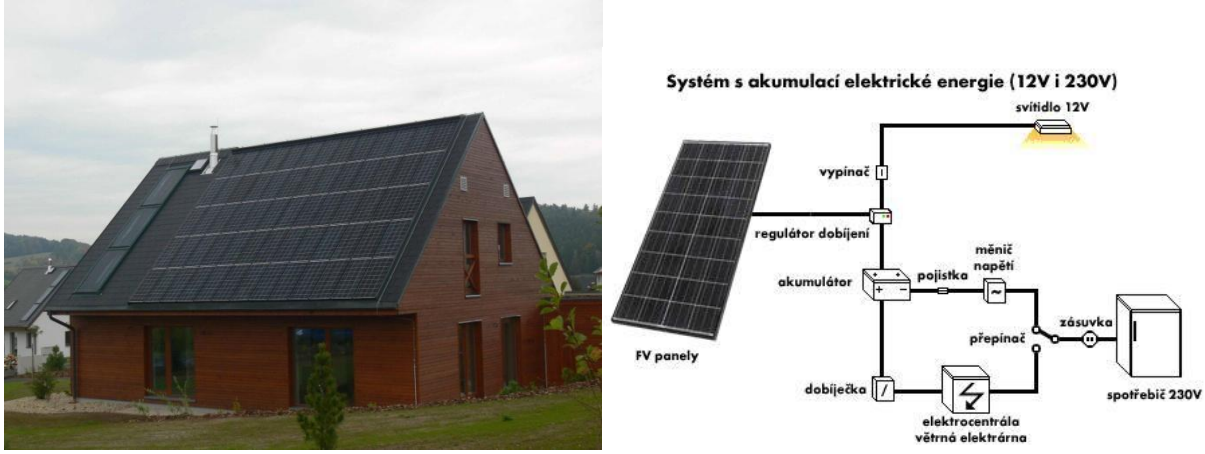
Systémy spadající do druhé kategorie se zasloužily o rozvoj fotovoltaických systémů, tak jak je známe do dnešní podoby. Jako první byly použity v letech do vesmíru, kde zajišťovaly napájení řídících a záložních systémů. V současné době jsou používány aplikace do několika stovek wattů jako ostrovní systémy pro parkovací automaty a soběstačné systémy na jachtách nebo karavanech. Přidáním akumulátorových baterií dojde k výraznému zvýšení komfortu a úměrnému zvýšení ceny. U těchto systémů je taktéž typické použití spotřebičů na 12, respektive 24 V.



Obr. 3.2 Integrované FV panely na střeše karavanu a jeho schématické zobrazení. [8][6]

Zvláštní podskupinou jsou obytné prostory s malou spotřebou elektrické energie. To jsou především chaty a zahradní domy.

Poslední skupinou jsou domovní aplikace, u kterých je kladen velký důraz na komfort uživatele. Z tohoto důvodu a velkého instalovaného výkonu je u většiny aplikací použit měnič napětí a MPPT regulátor. Fotovoltaický systém by měl být navrhnut tak, aby pracoval v letním období bez zásahu uživatele. V celoročním provozu dochází k několika údržbovým pracím v měsíci. Oproti předchozím systémům je zde použit měnič napětí k napájení běžných síťových spotřebičů. Samozřejmostí je zde využití elektrocentrály nebo jiného nezávislého zdroje.



Obr. 3.3 Rodinný dům v hybridním systému využívající solární moduly. [9][6]

4. JEDNOTLIVÉ KOMPONENTY FV SYSTÉMU

V této kapitole budou popsány vlastnosti jednotlivých komponentů používaných v ostrovním systému fotovoltaické elektrárny.

4.1 Fotovoltaické panely

Hlavním kritériem pro výběr fotovoltaických panelů je rovnoměrná výroba elektrické energie v průběhu celého roku respektive sledovaného období. Přičemž tento hlavní aspekt ovlivňuje především vliv klimatického podnebí, sklon střechy, odklon od jižní strany, aktuální roční období (závislost výšky slunce v průběhu roku) a lokalita umístění FV výrobny. Porovnávat budeme dvě rozdílné technologie, které můžeme vidět na obr. 4.1 a jsou to krystalické křemíkové články a tenkovrstvé články.

Obr. 4.1 Polykrystalický panel a amorfní panel. [13][14]

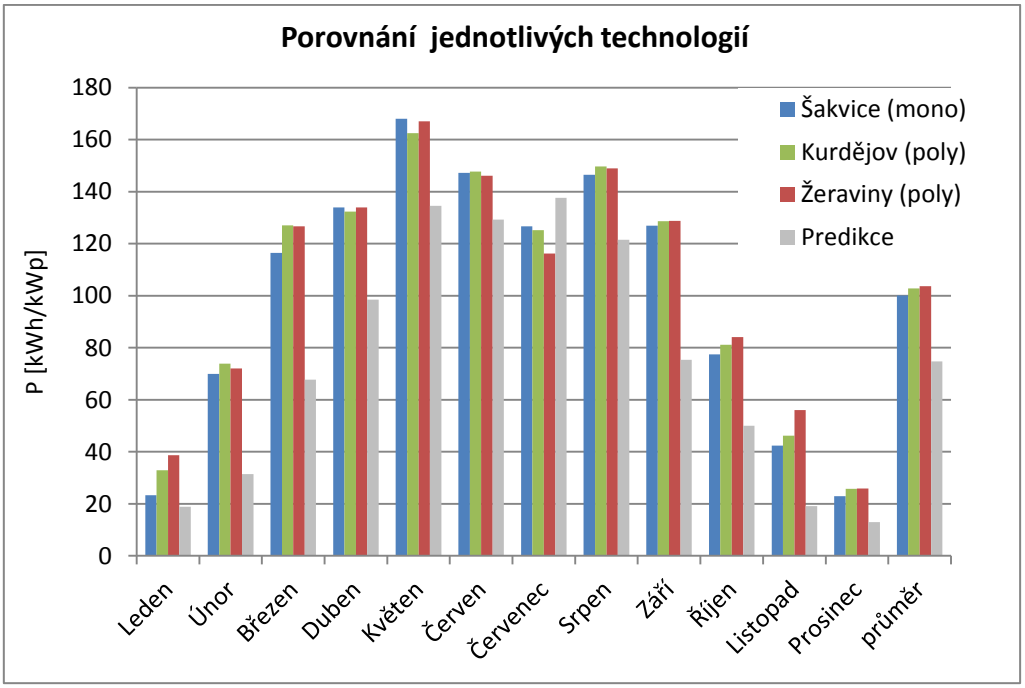
Krystalické křemíkové články se vyznačují vyšší účinností (14 – 16 %), při ideální intenzitě slunečního záření, než tenkovrstvé články. Přičemž polykrystalické panely mají sice nižší účinnost, ale v měsících s nižší sluneční intenzitou jsou schopny dodávat více elektrické energie, než články z monokrystalické technologie. Více o výběru polykrystalických panelů je možné najít v bakalářské práci [2].

Provedeme srovnání jednotlivých technologií pro tři fotovoltaické výrobny s parametry uvedenými v tabulce 4 – 1. Všechny elektrárny využívají střídače SMC 11000 TL-RP a panely jsou uloženy na konstrukci se sklonem 30°. Vyrobená elektrická energie je odečítána z měničů napětí, tudíž jsou ztráty na kabeláži na všech elektrárnách velmi blízké. Porovnáváme především hodnoty z elektrárny Šakvice a Kurdějov (zde jsou bohužel použity 2 typy FV panelů), které jsou od sebe vzdáleny 10 km. Dále ještě srovnáváme hodnoty s elektrárnou v Žeravinách, která je vzdálena od předchozích elektráren cca 70 km.

Tab. 4 – 1 FV elektrárny.

název	**Šakvice**	**Kurdějov**	**Žeraviny**
typ FV panelů	C.S.I. 235M	ET Solar 230 Wp a CSI 230 Wp	ET Solar P660230, 230 W
počet [ks]	4464	3744	7536
výkon [kWp]	1049	861,12	1733,28

Na obr. 4.2 lze vidět grafickou závislost, která porovnává polykrystalické a monokrystalické panely za loňský rok 2011 na vybraných elektrárnách.



Obr. 4.2 Grafické vyhodnocení tří fotovoltaických výroben.

Z grafické závislosti je patrné, že monokrystalické panely v měsících duben, květen, červenec vyrobí nepatrně více elektrické energie vztažené na 1 kWp. Velmi podstatné pro ostrovní systémy jsou hodnoty v měsících listopad, prosinec, leden, únor, březen, kde je patrná velká diference vyrobené energie. Nejvíce přímého slunečného záření bylo dle grafické závislosti v květnu, kde monokrystalická technologie vyrobí více elektrické energie. Naopak měsíc, ve kterém výroba nedosáhla ani předpokládané predikce je červenec, který musel být velmi oblačný. V posledním sloupci je uvedena průměrná hodnota vyrobené elektrické energie vztažené na 1 kWp, z čehož vyplývá, že polykrystalické panely vyrobily více elektrické energie, než monokrystalické a jsou tudíž vhodnější pro využití v klimatickém pásu ČR.

Druhou a nastupující generací jsou tenkovrstvé fotovoltaické články, které prošly během posledních let velkým boomem. Účinnost těchto článků již dosahuje až 12 %. Hlavní výhodou je, že dokáží zpracovat difuzní záření a tudíž pracují již při velmi nízkých intenzitách slunečního záření. Přičemž celková vyrobená energie vztažená na 1 kWp je vyšší zhruba o 10 % než u krystalických křemíkových článků. Další výhodou je nižší teplotní koeficient a pokles napětí při vyšších teplotách (cca 70 °C) fotovoltaického článku. Také cena amorfních panelů je o 10 – 15 % nižší než u krystalických panelů. Hlavním nedostatkem je nižší životnost tenkovrstvých článků, jelikož je to stále relativně nová technologie. Oproti křemíkovým článkům bývá garance životnosti nižší o 5 – 10 let. [11] [12]

Naměřená data z praxe ovšem ukazují, že záleží především na kvalitě daných panelů a reálná vyrobená energie vztažená na 1 kWp bývá stejná, ne-li nižší než u kvalitních krystalických panelů. Jako příklad můžeme uvést vyrobenou energii vztaženou na instalovaný

výkon u panelů: MY145-CIGS tenkovrstvý a MY280 P polykrystalický. Tyto panely jsou umístěny na konstrukci na střeše budovy v Plzeňském kraji a pracují do identické zátěže. V tabulce 4 – 2 lze vidět rozdíl vyrobené elektrické energie vztažené na 1 kWp naměřené v roce 2011 pro uvedené měsíce.

Tab. 4 – 2 Srovnání technologií užitých v praxi při stejných podmínkách.

panel (rok 2011)	únor	červenec
MY145-CIGS tenkovrstvý (kWh/kWp)	52,45	95,41
MY280 P polykrystalický (kWh/kWp)	58,45	105,49

4.2 Solární regulátory

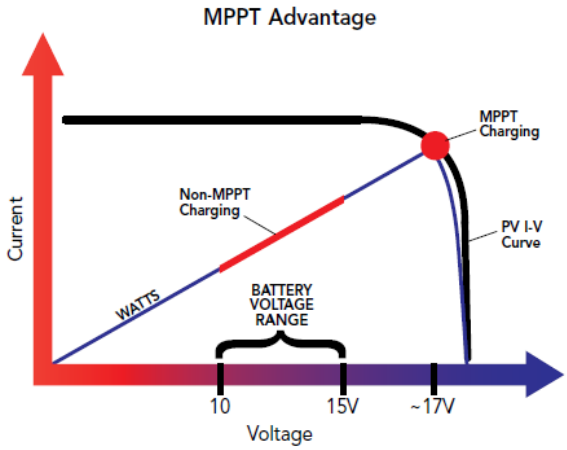
V ostrovních systémech využíváme dva typy solárních regulátorů. Oba dva typy regulátoru mají základní ochranné a funkční záležitosti. Oba také obsahují vstupy z FV panelů, k akumulátorům a výstup LOAD. Na výstup LOAD jsou připojeny spotřebiče, které jsou určeny k přímému připojení na napětí 12 V (24 V).[3]

Prvním typem je běžný solární regulátor obr. 4.3, který slouží jako stabilizátor napětí a automatická nabíječka akumulátorů. Dále kontroluje aktuální stav akumulátorů a udržuje akumulátory v plně nabitém optimálním stavu. Jde o koncepčně jednoduchý přístroj, od čehož se odvíjí i jeho cena. Je ale důležité vybírat takové solární regulátory, které disponují nastavením pro maximální optimalizaci nabíjení s ohledem na typ použitého akumulátoru. Účinnost obyčejného solárního regulátoru se pohybuje pouze kolem 80 %. To z důvodu, že regulátor pracuje pouze s proudem, které jsou aktuálně schopny dodat FV panely. Další omezení nastává v případě, že je nízká intenzita sluneční radiace a napětí dosažené z FV panelů je nižší, než napětí potřebné k dobíjení akumulátorů, což je patrné na obrázku 4.4. [3]

Obr. 4.3 Jednoduchý solární regulátor. [23]

Tento problém řeší regulátor zvaný MPPT (Maximum Power Point tracking) měnič (regulátor nabíjení). MPPT měnič má vestavěný vysokofrekvenční DC-DC měnič, který změní vstupní stejnosměrné napětí na vysokofrekvenční střídavé napětí, toto napětí transformuje a opět změní na stejnosměrné napětí, ale s jinou než vstupní velikostí (přičemž se mění i hodnota proudu). V případě MPPT měniče tedy dochází k optimalizaci napětí a proudu, kterým je nabíjen akumulátor tak, aby byl využit "Maximum Power Point" (MPP), čili bod na V-A charakteristice s maximálně dosažitelným výkonem, jak je patrné na obr. 4.3. Zcela zásadní výhodou kvalitního MPPT měniče oproti solárnímu regulátor je možnost využití solárních panelů s napětím třeba i 150V (sériově spojené solární panely) s tím,

že MPPT měnič je schopný i při daleko vyšších napětích, než je napětí připojených akumulátorů, velmi efektivně zpracovat výkon z těchto panelů, aniž by docházelo k vyšším ztrátám v systému. Z uvedených skutečností vyplývá, že účinnost MPPT měniče dosahuje až 95 % a ztráty jsou převážně způsobeny vnitřními ztrátami vestavěných aktivních a pasivních součástek. Toho samozřejmě není solární regulátor schopen dosáhnout.[3]



Obr. 4.4 Porovnání V-A charakteristiky obyčejného solárního regulátoru a MPPT měniče. [31]

Z těchto principů vychází, že u malých systémů, kde se snažíme stlačit pořizovací cenu na minimum, se převážně využívá solárních regulátorů. Naproti tomu u domovních aplikací je MPPT měnič nezbytnou součástí k tomu, aby byl celý systém funkční a efektivní a to především má-li ostrovní sytém pracovat v celoročním provozu.[3]

Obr. 4.5 Regulátor nabíjení s MPPT měničem. [10]

Velmi důležitá je indikace jednotlivých provozních stavů. U nejjednodušších solárních regulátorů slouží k signalizaci základních pracovních stavů a stavu nabíjení LED diody, případně displej zobrazující hodnoty napětí na akumulátorech. Většinou je také indikován téměř vybitý akumulátor a odpojení výstupu LOAD. MPPT solární regulátory používané v domovních aplikacích umožňují připojení k počítači a sledování aktuálních stavů solárního

regulátoru, fotovoltaických panelů, akumulátoru a výstupu pro spotřebiče na PC. Jeden z těchto MPPT solárních regulátorů je na obr. 4.5. K dispozici jsou následně grafické charakteristiky pro dlouhodobé vyhodnocení mnoha parametrů. Připojení k PC je obvykle realizováno přes rozhraní RS-232 (sériový port), USB rozhraní nebo ethernet. V případě, že u domovních aplikací nevyužijeme jiný monitorovací systém viz. kapitola 4.6, můžeme využít údaje, které získáváme on-line nebo varování pomocí textových zpráv a e-mailů. [3][15]

U domovních aplikací je velmi důležité zvolit MPPT solární regulátor, který umožňuje připínání elektrických spotřebičů v době, kdy jsou akumulátory plně nabity. Poté přebytky v letních měsících můžeme využívat k dobíjení elektromobilů, ohřevu vody atd.

4.3 Akumulátory

Nedílnou a velmi podstatnou součástí celého systému je technické zařízení na opakované uchování elektrické energie. Jelikož je to jeden z nejproblémovějších a nejdražších prvků celé soustavy, je třeba dbát zvýšenou pozornost nejen na výběr jednotlivých komponentů souvisejících s akumulátory, ale také na výběr samotných akumulátorů. V případě, že jsou akumulátorové baterie špatně dimenzovány, dochází k nevyužití celkové kapacity akumulátorů. Případně naopak systém nemá dostatečnou kapacitu k vykrytí dní bez dostatečné intenzity slunečního záření nebo nedokáží dodat dostatečný proud spotřebičům s rozběhovými proudy. Další problém může nastat v případě, že by byl navržen nevhodný solární regulátor. Poté životnost akumulátorů bude velmi krátká. [3]

Ve FVE se používají především údržbové a bezúdržbové olověné trakční baterie, které jsou náchylné na dobíjení a vybíjení, jak se ukazuje v praxi, jejich životnost (počet cyklů) bývá nedostačující. V případě optimálních podmínek můžou dosahovat cca 1000 cyklů. Další poměrně dražší variantou jsou NiCd a NiFe, kde je životnost akumulátorů několikanásobně vyšší. Dalším typem akumulátorů jsou $LiFePO_4$, kde je cena dvojnásobná oproti olověným akumulátorům, ale životnost minimálně trojnásobně vyšší a má další velmi výhodné parametry. [3]

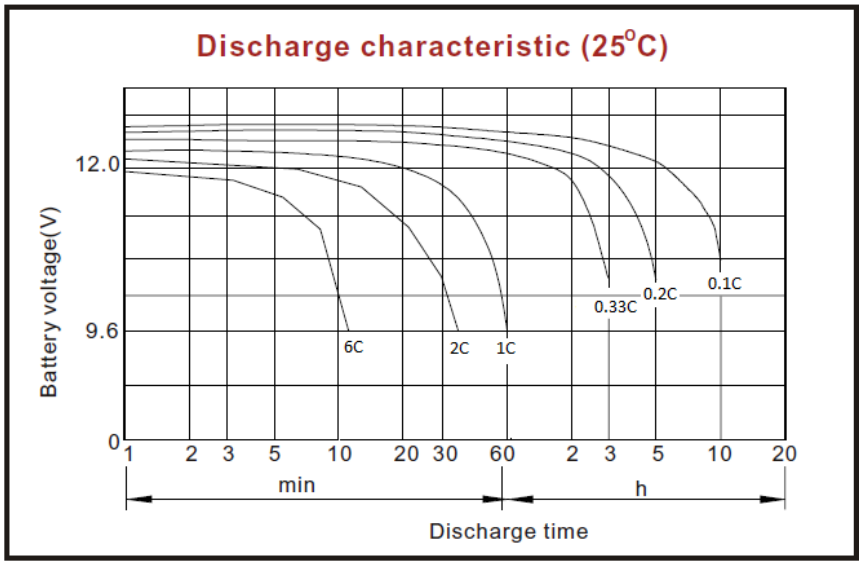
4.3.1 Olověné akumulátory

U malých systémů, kde se klade velký důraz na pořizovací cenu, se převážně využívají olověné akumulátory. U olověného plně nabitého akumulátoru je jeho svorkové napětí cca 2,2 V, kdežto plně vybitého cca 1,75V. Vybíjecí pracovní proud bývá udáván jako 0,05 násobek celkové kapacity. Dva nejužívanější typy olověných akumulátorů jsou:

Trakční akumulátor se zaplavenými elektrodami. Jedná se o "klasický" typ akumulátoru, který není hermeticky uzavřený a při nabíjení se z něho uvolňuje vodík. Navíc se může během nabíjení "vyfouknout" spolu s plynem i část tekutého elektrolytu, takže tento trakční akumulátor může být během provozu potřísněn elektrolytem. Akumulátor může být umístěný pouze v dobře větraných prostorách, umístění v obytných prostorách je naprosto nevhodné.

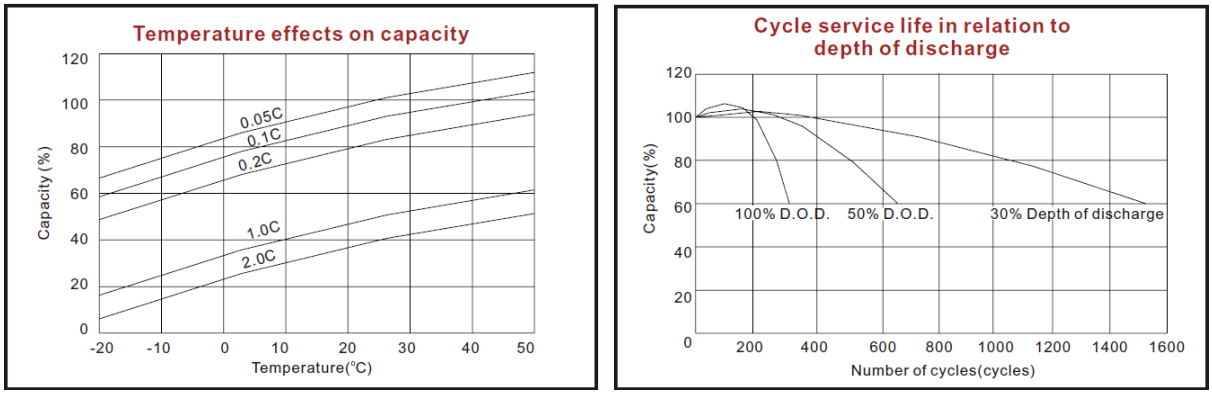
Trakční akumulátor v provedení VRLA (Valve Regulated Lead Acid batteries). VRLA provedení znamená hermeticky uzavřený bezúdržbový akumulátor. Akumulátory tohoto typu se dělí na: gelové akumulátory (elektrolyt je ve formě hustého gelu) a AGM akumulátory (kapalný elektrolyt je nasáknut do skelné hmoty). Obě technologie jsou dnes na vysoké úrovni. AGM akumulátory (oproti gelovým) jsou schopné podávat vysoký výkon i při nízkých okolních teplotách, jsou asi o 10% lehčí a při stejné kapacitě jsou schopné dát až o 30% vyšší okamžitý výkon než gelové akumulátory. Gelové akumulátory mají oproti AGM akumulátorům o 10% delší životnost (umí lépe čelit hlubokému vybití) a nepodléhají tak velkému samovybíjení.[3][16]

Důležité je uvědomit si závislost celkové kapacity na jednotlivých faktorech ovlivňujících kapacitu akumulátorové baterie. Jako první je Peukertův zákon, který vyjadřuje závislost kapacity akumulátoru na velikosti vybíjecího proudu, který můžeme vidět na obr. 4.6. Peukertův zákon koriguje vybíjecí proud pomocí Peukertovy konstanty. Následně tak lze stanovit kapacitu akumulátoru při daném vybíjecím proudu. Peukertova konstanta pro olověné akumulátory se zaplavenými elektrodami je k = 1,2 až 1,6, pro gelové 1,1 až 1,25, pro AGM pak 1,05 až 1,15. Peukertův zákon nám tedy vyjadřuje, že při vybíjení baterie velkým proudem, její vnitřní odpor způsobí, že se část energie ztratí ve formě tepla a dosažitelná kapacita se tudíž snižuje.



Obr. 4.6 Vybíjecí charakteristika pro jednotlivé proudy (6FM200D-X12V 187Ah(10hr)). [20]

Dalším bodem je závislost teploty, kterou můžeme sledovat na obr. 4.7. Z charakteristiky je patrné, že se dosažitelná kapacita s rostoucí teplotou zvyšuje. Nárůst teploty má však vliv na snižování životnosti akumulátorů. V neposlední řadě je velmi důležité stanovit dobu života (počet cyklů), která je mimo jiné závislá na hloubce vybíjení. Tuto závislost můžeme pozorovat na obr. 4.7. [16]

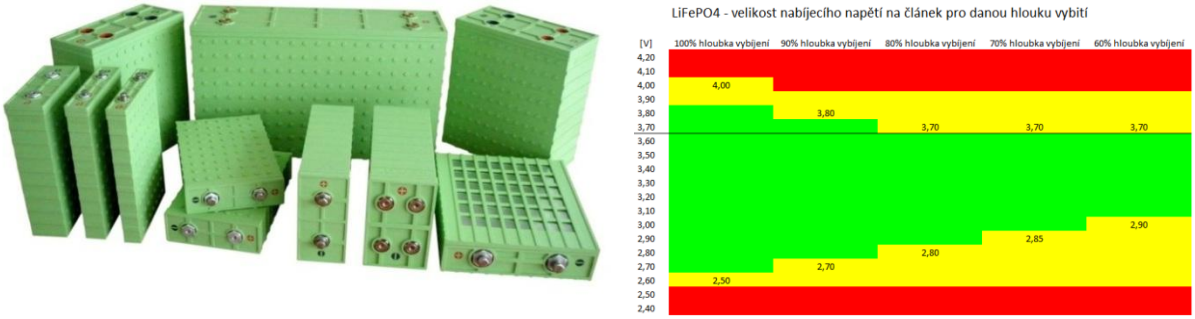


Obr. 4.7 Závislosti teploty a hloubky vybíjení na kapacitě (6FM200D-X12V 187Ah(10hr)). [20]

Výše umístěné grafické závislosti jsou pro VRLA AGM baterii deep cycle 6FM200D-X 12V 187 Ah(10hr).

4.3.2 Lithium-železo-fosfátové akumulátory ($LiFePO_4$)

Novou generací lithium iontových nabíjecích baterií jsou akumulátory postavené na lithium železo fosfátu ($LiFePO_4$), které můžeme vidět na obr. 4.8. samovybíjecí efekt u těchto akumulátorů prakticky neexistuje a je možné je nabíjet v jakémkoliv stavu vybití (nemají paměťový efekt). Nominální napětí $LiFePO_4$ článků je zhruba 3,2 V (mezi 3,0 až 3,3 V), maximální nabíjecí napětí je 4,2 V. Minimální napětí na které je možné článek vybít je obvykle 2,5 V. Pro prodloužení provozní životnosti je vhodné se pohybovat v mezích uvedených na obr. 4.8. Tyto články jsou schopny dodat pracovní proud až 3C. Na rozdíl od olověných akumulátorů jsou mnohem lehčí a také jsou netoxické. Životnost je udávána více než 2000 cyklů. Lze je použít v rozmezí teplot -45 °C až +85 °C s velmi nízkou závislostí na kapacitě. Je nutné využívat Battery Management System, BMS je název pro monitorovací a sledovací zařízení, které kontroluje a zaznamenává stav jednotlivých článků nebo baterií. Minimálně je třeba využít balančních obvodů. Nové baterie jsou z výroby částečně nabity. Avšak před prvním použitím je bezpodmínečně nutné nabít baterie na plnou kapacitu. Toto prvotní (inicializační) nabíjení by mělo být provedeno proudem maximálně 1C. Kapacita v prvních cyklech postupně roste až na hodnotu 105 – 110 % jmenovité kapacity. Během prvních šesti cyklů se doporučuje vyhnout prudkému vybíjení až na minimální kapacitu a rychlonabíjení. Po šesti cyklech se doporučuje ještě jednou provést inicializační nabíjení pro srovnání napětí na jednotlivých článcích. [17][18]



Obr. 4.8 Lithium-železo-fosfátové akumulátory a jejich provozní napětí na článek. [19]

4.3.3 Srovnání olověných a $LiFePO_4$ akumulátorů

V této kapitole provedeme tabulkové srovnání charakteristických parametrů olověných a $LiFePO_4$ akumulátorů na 12 V. Budeme srovnávat olověný gelový akumulátor Aku Hoppecke 90Ah a $LiFePO_4$ akumulátor Lithium Battery 12V/90Ah, které jsou uvedené v tab. 4 – 3.

Tab. 4 – 3 Charakteristické parametry olověných a $LiFePO_4$ akumulátorů.[33]

Akumulátor - typ	Olověný	$LiFePO_4$
Nominální napětí akumulátoru	12 V	13,2 V
Počet článků	6	4
Doba nabíjení	min. 11 h	min. 2 h
Možnost okamžitého použití	ano	ne
Maximální vybíjecí proud	8 A	100 A
Hustota energie	30-50 Wh/kg	90-120 Wh/kg
Počet cyklů (hloubka vybíjení)	max. 700	min. 2000
Cena s DPH	6450 Kč	12360 Kč

4.4 Měniče napětí

U domovních aplikací jsou střídače obr. 4.9 neodmyslitelnou součástí celého systému. Používají se měniče s modifikovanou sinusovkou. Výstupní napětí těchto měničů nemá zcela hladký průběh a proto není vhodný pro napájení citlivé elektroniky. Tyto nedostatky odstraňuje finančně náročnější měnič napětí s čistou sinusovkou. [4]

Obr. 4.9 Inventor pro malé systémy a nástěnné inventory pro domovní aplikace. [21] [22]

Dalším kritériem, dle kterého vybrat daný měnič, je trvalý maximální výkon. Pro napájení asynchronních motorů (oběhová čerpadla, okružní pily, frézky, malé soustruhy apod.) se doporučuje výběr měniče napětí, který má min. 6x až 8x vyšší trvalý maximální výkon, než je provozní příkon motoru daného spotřebiče. Pro napájení motorů s komutátorem (ruční elektrické nářadí jako vrtačky, úhlové brusky, ruční okružní pily, dále vysavače apod.) se doporučuje výběr měniče napětí, který má trvalý výkon min. 2,5x ale lépe 3x vyšší, než je příkon spotřebiče. Zvláštní kapitolou je napájení lednice, kde je třeba počítat minimálně s 15x vyšším výkonem, než je udáván štítkový příkon lednice. Udávaný maximální příkon měniče je opravdu maximální hodnota a z tohoto důvodu volíme výkon o 15 – 20 % vyšší, než předpokládaný příkon spotřebičů. [4]

4.4.1 Hybridní měniče napětí

Se snižující se cenou investičních nákladů jednotlivých komponentů, mohou být do budoucna velmi zajímavou alternativou hybridní měniče napětí. Základní vlastností hybridních měničů napětí je možnost pracovat paralelně se sítí nízkého napětí, aniž by bylo zapotřebí souhlasné stanovisko distributora o připojení fotovoltaické elektrárny do sítě. A to z důvodu, že je prokazatelně galvanicky oddělena od distribuční soustavy. V případě zahájení opětovného připojování fotovoltaických elektráren, lze zažádat o připojení do distribuční sítě a následně využívat podporu pomocí zelených bonusů. Z hlediska ostrovního systému je především velmi zajímavá možnost ideálně dimenzovat akumulátorové baterie a v případě potřeby „dokoupit“ elektrickou energii z distribuční sítě. Tím se prodlužuje životnost akumulátorových baterií a snižují investiční náklady. V případě kontinuálního snižování investičních nákladů může nastat doba, kdy budou hybridní měniče zajímavou investicí. Hybridní měniče napětí dodává několik výrobců jako Schneider Electric, Studer Innotec, Victron Energy a částečně i SMA. Jelikož je základním předpokladem pro provoz hybridního měniče elektrická přípojka daného objektu, nebudeme možnost hybridních měničů uvažovat. [24][25]

4.5 Spotřebiče využívané v ostrovním systému

Zcela zásadní je vlastní výběr spotřebičů. Spotřebiče jsme rozdělili do dvou kategorií. Spotřebiče na 12 respektive 24 V můžeme využít v případě, že zvolíme systémové napětí 12/24 V. Druhou kategorií jsou spotřebiče na střídavé napětí 230 V.

4.5.1 Spotřebiče na stejnosměrné napětí

V současné době je možné využití spotřebičů na 12 V, které se využívají v automobilech. Ve všech případech jde o spotřebiče s nízkým výkonem, protože využívají povětšinou proud do 15 A, tudíž do 180 W. Mezi využitelné spotřebiče na stejnosměrné napětí v ostrovním systému řadíme čerpadla, LCD televize, malé chladící boxy, světelné zdroje (kompaktní zářivky a LED zdroje). Dále je možné využít zařízení typu kulma, fén, vysavač a ventilátor. V neposlední řadě lze dobíjet akumulátory do ručního nářadí, NB atp. Také jsou velmi hojně rozšířené kompresorové lednice na 12/24 V, jejichž cena je ovšem velmi nepříznivá.

V případě zvolení systémového napětí na 12/24 V je vhodné, i v případě již stávající instalace, použít stejnosměrné světelné zdroje. Např. světelný zdroj OSRAM DULUX INTELLIGENT SOLAR 12 V DC VARIO je úsporná kompaktní zářivka využívající stejnosměrné napětí 12 V, kterou lze stmívat bez stmívače. Příkon tohoto světelného zdroje je 11 W, tudíž odebírá proud cca 1 A. Při snížení jasu na polovinu se sníží spotřeba o 60 %. Díky patici E27 je vhodná i do stávající elektroinstalace. Je třeba pouze dbát na velikost úbytků napětí v případě využití stávající instalace.[26]

Stanovíme-li si velikost úbytku napětí 0,5 V a maximálně 3 kompaktní zářivky v sérii Osram Dulux, můžeme jednoduše dopočítat maximální vzdálenost světelných zdrojů

od akumulátorů. Světelné okruhy jsou nejčastěji realizovány vodiči CYKY-J 1,5 mm^2. Rezistivitu mědi odečteme z tabulek [29] $\rho_{\mathrm{cu}} = 0{,}018\ \mu\Omega \cdot \mathrm{m}$.

$$dU = R \cdot I \qquad [\mathrm{V};\ \Omega, \mathrm{A}] \tag{4.1}$$

$$dU = \frac{\rho \cdot 2 \cdot l}{S} \cdot I \qquad [\mathrm{V};\ \Omega \cdot \mathrm{m}, \mathrm{m}, \mathrm{m}^2, A] \tag{4.2}$$

$$l = \frac{S \cdot dU}{\rho \cdot 2 \cdot I} \qquad [\mathrm{m};\ \mathrm{m}^2, \mathrm{V}, \Omega \cdot \mathrm{m}, A] \tag{4.3}$$

$$l = \frac{S \cdot dU}{\rho \cdot 2 \cdot I} = \frac{1{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}5}{1{,}8 \cdot 10^{-8} \cdot 2 \cdot 3} = \underline{6{,}94\ m} \tag{4.4}$$

Jak je patrné z výsledku, je velmi důležité dodržet jak vzdálenost, tak velikost odběru v přípustných mezích. V případě, že by byla trasa světelného okruhu vyšší, je třeba snížit odběr, případně zvýšit dovolený úbytek, jehož horní hranice není neomezená. Na demonstrujícím příkladu jsme poukázali na problém dimenzování kabeláže pro stejnosměrné napětí 12/24 V. Tudíž v praxi je vždy nutné vypočítat úbytky napětí pro konkrétní použití spotřebičů na stejnosměrné napětí.

Poslední skupinou jsou zařízení využívaná ve stand-alone aplikacích a to především čerpadla na 12 V, která jsou hojně využívaná v rozvojových zemích.

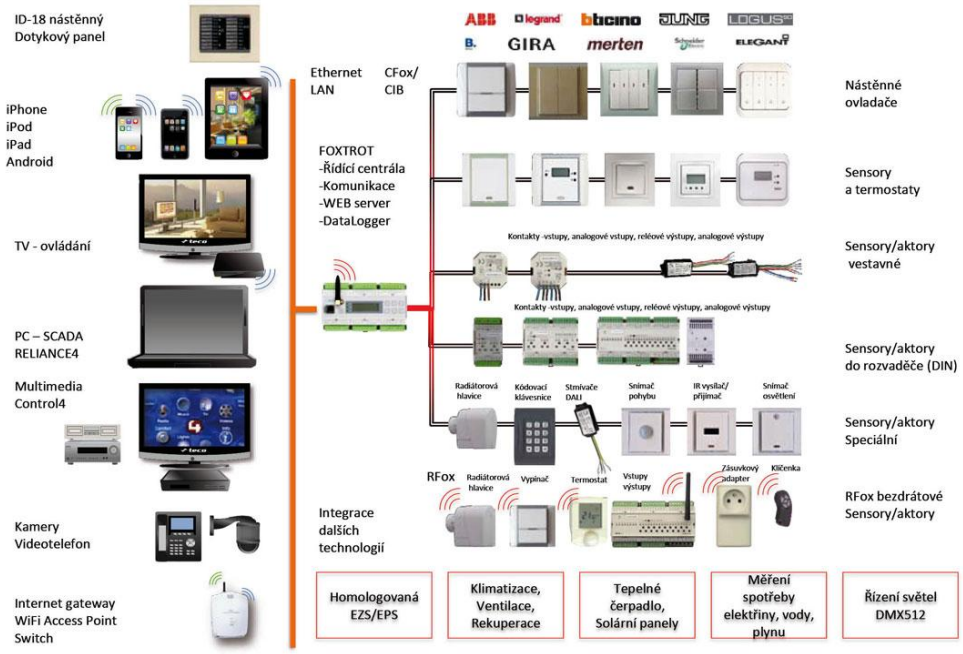
4.5.2 Spotřebiče na střídavé napětí

U klasických spotřebičů na 230 V střídavého napětí je důležité využívat spotřebiče s co nejvyšší účinností. Dále je třeba dávat pozor na rozběhové proudy viz. kapitola 4.4. Také je vhodné zjistit, jestli dokáže spotřebič bezvadně pracovat s modifikovaným sinusovým průběhem. U zařízení, které předehřívají vodu (myčka, pračka), je velmi vhodné použít speciální spotřebiče, které mají zvlášť přívod teplé a studené vody.

4.6 Podpůrné prostředky

Mezi podpůrné komponenty řadíme měřící systémy a druhý nezávislý zdroj elektrické energie.

Měřící systémy jsou nezbytné u každého systému alespoň v minimálním rozsahu. Tyto systémy monitorují stav baterií, aktuální tok výkonu z FV panelů, z baterií a další sledované veličiny. Jako jeden z velmi zajímavých produktů lze zmínit inteligentní systém postavený na řídící jednotce Foxtrot od Kolínské společnosti Teco. Tímto systém lze ovládat velké množství aplikací a funkčních prvků, jak lze pozorovat na obr. 4.10. Od možností centrálního vypnutí všech zásuvek v rodinném domě, přes řízení intenzity osvětlení po monitoring celé fotovoltaické výrobny. Z čehož vyplývá možnost snížení spotřeby elektrické energie. Cena centrální jednotky se podle typu pohybuje mezi 12 až 20 tisíci Kč. Přičemž v případě využívání systému Foxtrot je nutné započítat vlastní spotřebu, která se pohybuje v rozmezí 3 – 75 W v závislosti na počtu přídavných modulů a rozšiřujících submodulů.



Obr. 4.10 Možnost aplikací použitelných v systému Foxtrot. [27]

V neposlední řadě ostrovní systém u domovních aplikací pracující po celý rok potřebuje druhý nezávislý zdroj elektrické energie. Ve většině případů se využívá elektrocentrály a takto vzniklý systém se nazývá hybridní. U výše zmíněného systému Foxtrot lze např. nastavit případné automatické dobíjení akumulátorových baterií za předpokladu, že je elektrocentrála vybavena automatickým elektrickým startérem. Takto navržený systém je velice komfortní.

4.7 Spolehlivost jednotlivých komponentů

Celková spolehlivost je dána nejslabším prvkem v celém systému. Případná porucha na solárním regulátoru vyřadí celou výrobnu elektrické energie, tudíž při výběru této součásti je třeba dbát zvýšené pozornosti. Většina fotovoltaických panelů má garantovaný výkon po dobu minimálně 20 let a to obvykle na 80 %. Z hlediska spolehlivosti patří fotovoltaické panely k velmi spolehlivým prvkům. Nejproblematičtějším prvkem v celém systému je návrh, výběr a správné využívání akumulátorových baterií. Tudíž spolehlivost celého systému je přímo úměrná správnému nadimenzování akumulátorů. Při poruše na akumulaci energie lze stále využívat dodávaný výkon do systému, ale pouze u přímo napájených spotřebičů z výstupu LOAD.

U domovních aplikací lze v případě poruchy na akumulátorech nebo regulátoru, připojit střídač přímo na fotovoltaické panely a dodávat výkon do systému alespoň v době s dostatečným osvitem fotovoltaických panelů.

5. DIMENZOVÁNÍ FV SYSTÉMŮ PRO AUTONOMNÍ PROVOZ

Při použití, kterékoliv metody optimalizace instalovaného výkonu zdrojů a akumulačního zařízení, jde o hledání kompromisu mezi náklady na instalaci a provoz na straně jedné a spolehlivostí systému na straně druhé. Přitom očekávaná spolehlivost systému je naprostou prioritou pro provozovatele ostrovního systému i v případě omezeného rozpočtu. Nedílnou podmínkou pro návrh FV systému je dostatečný uživatelský komfort.[1]

Dimenzování FV systémů je rozdílné pro jednotlivé výkonové kategorie. U prvních dvou kategorií, z důvodu snížení ztrát a investiční ceny, využíváme převážně spotřebiče na 12 respektive 24 V. Při využívání těchto spotřebičů je ovšem značně omezen komfort.

U návrhu autonomního fotovoltaického systému pro domovní aplikace provádíme návrh na letní nebo celoroční provoz. V případě návrhu na letní provoz dimenzujeme FV elektrárnu na měsíce od června do srpna. Při návrhu na celoroční provoz se postupuje tak, že je FV elektrárna dimenzována na měsíce březen až říjen. Tyto měsíce jsou obdobím s nadprůměrnou intenzitou slunečního svitu a tím i s nadprůměrnou produkcí elektrické energie z fotovoltaických panelů. [3]

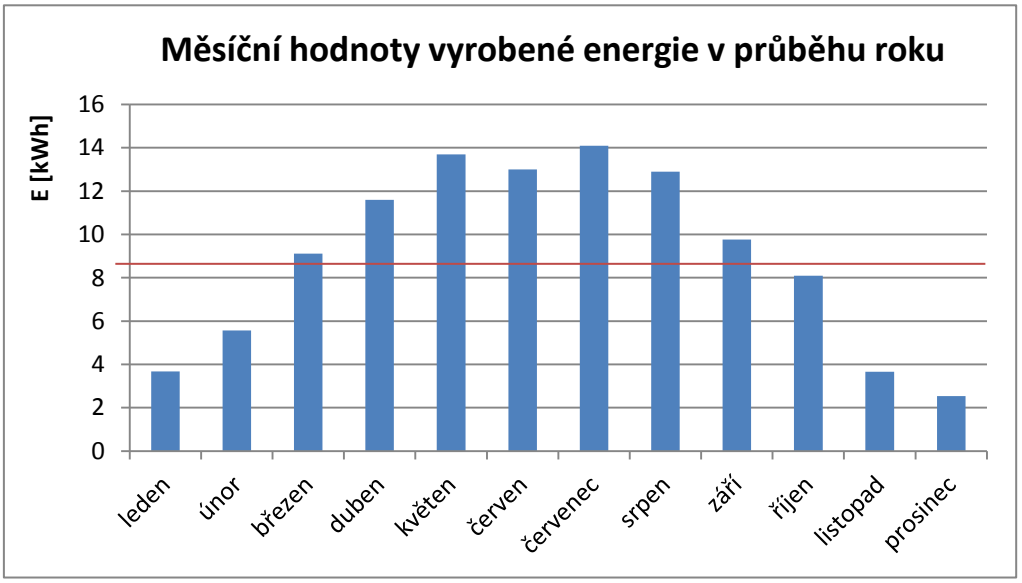
V kapitole 7.1 si provedeme podrobný popis dimenzování fotovoltaických panelů na konkrétní aplikaci. Pro představu uvedeme hodnoty, kolik vyrobí fotovoltaický panel o výkonu 100 Wp v okolí Brna při ideálních podmínkách. Použijeme k tomu webovou aplikaci PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) [31] a hodnoty uvedeme do tabulky 5 – 1. [3]

Tab. 5 – 1 Energie vyrobená z fotovoltaického ponelu o výkonu 100 Wp.

měsíc	Energie vyrobená za den [kWh]	Energie vyrobená za měsíc [kWh]
leden	0,12	3,67
únor	0,20	5,57
březen	0,29	9,11
duben	0,39	11,6
květen	0,44	13,7
červen	0,43	13,0
červenec	0,46	14,1
srpen	0,41	12,9
září	0,33	9,76
říjen	0,26	8,10
listopad	0,12	3,66
prosinec	0,08	2,53
roční průměr [kWh]	0,295	8,97
celkem za rok [kWh]	108	

Měsíční hodnoty vyrobené energie si pro větší názornost uvedeme v grafické závislosti na obr. 5.1. Pokud bychom podrobněji vyhodnotili údaje v grafu a tabulce, které se týkají průměrné denní výroby elektrické energie v jednotlivých měsících, dospějeme k závěru,

že produkce elektrické energie, počínaje měsícem březen a konče měsícem září, je nadprůměrná (dále k těmto měsícům připočítáme říjen, který se této hodnotě velmi přibližuje), což nám znázorňuje červená čára v grafu a produkce v ostatních měsících tedy listopad, prosinec, leden a únor je z hlediska produkce elektrické energie podprůměrná. Přičemž je patrné, že měsíce s podprůměrnou dodávkou elektrické energie jsou výrazně pod průměrem. V případě, že vezmeme v potaz všechny nadprůměrné hodnoty (plus říjen) a uděláme průměr z těchto hodnot, dostaneme se u panelu o výkonu 100 Wp na hodnotu průměrné denní produkce elektrické energie 393 Wh v období březen až říjen. Pokud ovšem provedeme průměr jen z podprůměrných měsíců (leden, únor, listopad, prosinec), dostaneme se na hodnotu pouhých 156 Wh denně. [3]



Obr. 5.1 Měsíční hodnoty vyrobené energie panelem o výkonu 100 Wp v průběhu roku.

Z uvedených údajů, je zřejmé, že fotovoltaické panely produkují v období listopad – únor asi pouhou 1/3 celkové energie oproti průměru z období zbytku roku, tedy březen – říjen. Ovšem optimálně spočítané fotovoltaické panely pro konkrétní denní odběr energie v rámci období březen – říjen, poskytnou v období listopad – únor celkově asi 1/2 potřebné energie. Nejedná se ale o rozpor s předchozím údajem, jelikož potřebný výkon panelů se totiž při plně fotovoltaickém provozu (bez využití elektrocentrály) stanovuje na základě produkce v nejhorším měsíci z období využití panelů a nikoli z průměru za všechny měsíce. A protože pro výpočet optimálního výkonu panelů pro období březen – říjen byl samozřejmě vybrán "nejslabší" měsíc říjen, pak jsou panely pro všechny ostatní měsíce z období březen - říjen naddimenzované a jsou tak schopné poskytnout celkově 1/2 potřebné energie i v období listopad – únor. Pokud bychom chtěli fotovoltaické panely dimenzovat bez využití elektrocentrály i pro měsíce listopad-únor, museli bychom jako výchozí nejhorší měsíc z období vybrat prosinec, kdy ale fotovoltaické panely produkují asi 1/3 elektrické energie oproti říjnu. [3]

Výhoda využití elektrocentrály spočívá tedy v tom, že panely (pokud jsou využity v zimě) není nutné dimenzovat pro měsíc prosinec, ale můžeme je dimenzovat pro měsíc říjen

a v období listopad – únor můžeme počítat s denním průměrem výroby za celé období listopad – únor. Je zcela evidentní, že navýšit výkon fotovoltaických panelů kvůli 4 zimním měsícům v roce na trojnásobek výkonu, oproti optimálnímu výkonu ostatních 8 měsíců, by bylo finančně velmi náročné (3x vyšší výkon panelů = 3x vyšší výdaje za fotovoltaické panely a samozřejmě také výrazně vyšší výdaje na akumulátory a výkonnější solární regulátor). Dalším důvodem může být využívání spotřebičů s velkým rozběhovým proudem, který může být pokryt elektrocentrálou. Zbytek období je tedy vykrýván druhým nezávislým zdrojem elektrické energie. Ve většině případů je použita již zmíněná elektrocentrála. V případě vhodného umístění objektu je možné využít větrný generátor. [3]

Velmi důležité je zvolení vhodného systémového napětí. Musíme si uvědomit, že i při relativně nízkých příkonech zařízení dochází k velkému proudovému zatížení. Což je patrné z tabulky 5 – 2. V tabulce jsou taktéž uvedené odpovídající průřezy kabelů od firmy Draka Drakaflex sun betax [28], které mohou být použity k propojení mezi akumulátorovou baterií a měničem napětí respektive spotřebičem.

Tab. 5 – 2 Jmenovitý proud a minimální průřez kabelů pro uvedené příkony při daném U_n.

	12 V	24 V	48 V
100 W	8 A / 1,5 mm^2	4 A / 1,5 mm^2	2 A / 1,5 mm^2
200 W	17 A / 1,5 mm^2	8 A / 1,5 mm^2	4 A / 1,5 mm^2
300 W	25 A / 1,5 mm^2	13 A / 1,5 mm^2	6 A / 1,5 mm^2
500 W	42 A / 4 mm^2	21 A / 1,5 mm^2	10 A / 1,5 mm^2
1000 W	83 A / 10 mm^2	42 A / 4 mm^2	21 A / 1,5 mm^2
2000 W	167 / 25 mm^{2}A	83 A / 10 mm^2	42 A / 4 mm^2
5000 W	417 A / -	208 A / 35 mm^2	104 A / 16 mm^2

Přičemž volba systémového napětí (napětí akumulátorů) neovlivňuje pouze průřez použitých kabelů, ale i volbu solárního regulátoru (jmenovitého proudu).

5.1 Dimenzování jednotlivých komponentů

V této kapitole budou rozepsány možné úskalí spojená s dimenzováním fotovoltaického ostrovního systému.

5.1.1 Dimenzování akumulátorů

Ve značném množství případů dochází k předimenzování nebo poddimenzování akumulátorových baterií. Jelikož značnou část investičních nákladů tvoří právě akumulátory, je správné nadimenzování velmi důležité. Také je velmi důležité navrhnout k akumulátorům správný solární regulátor, aby nedocházelo k hlubokému vybíjení nebo přebíjení a tím klesala jejich životnost, což je nejčastější příčinou problémů spojených s akumulací energie.

Dimenzování kapacity akumulátorů provádíme na určitý počet dní se sníženou intenzitou sluneční radiace, většinou volíme minimálně 3 dny. Jak je uvedené v tab. 5 – 1 je nutné počítat s vybíjecími jmenovitými proudy v závislosti na jmenovitém napětí systému a celkové kapacity akumulátorů. V případě, že je systém dimenzován na jednodenní cyklus (celková

kapacita a dovolený vybíjecí proud je nižší), je nutné dbát zvýšené pozornosti právě na velikosti jmenovitých vybíjecích proudů, které nesmí překročit stanovenou hodnotu.

5.1.2 Dimenzování fotovoltaických panelů

Jak již bylo uvedeno v kapitole 4.1, je třeba dbát na správné umístění fotovoltaických panelů.

Tab. 5 – 3 Ideální sklon fotovoltaických panelů.

sklon	Západ						jih							východ					
	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	87	88	90	91	92	92	93	93	93	93	93	93	92	92	91	90	89	87	86
10	84	87	90	90	94	95	95	96	96	97	97	96	95	94	93	91	89	87	84
20	82	85	90	93	94	96	97	98	98	97	98	97	96	95	93	91	88	84	81
30	78	83	87	91	93	96	97	98	99	100	98	97	96	95	93	89	85	81	78
40	75	79	84	87	92	94	95	95	99	99	95	95	94	92	90	86	82	77	72
50	70	74	79	83	87	90	91	95	96	96	95	93	91	88	83	80	76	73	70
60	65	69	73	77	80	86	88	90	91	91	90	87	85	82	78	74	71	67	63
70	59	63	76	77	77	82	84	86	85	85	84	82	79	75	72	68	64	61	56
80	50	56	60	64	69	72	75	80	81	79	74	71	70	67	66	60	57	54	50
90	41	49	44	58	79	61	60	61	63	65	65	63	62	59	60	52	50	47	44

Z tabulky 5 – 3 je patrné, že optimální sklon panelů se pohybuje mezi 35° až 49°. V případě výchozího sklonu panelů pod úhlem 35°, který je optimální pro období březen-říjen, dostáváme po změně sklonu panelů na 45° v létě přibližně o 1% nižší výkon. Naopak v zimě získáme asi 1 % více vyrobené energie. Po změně sklonu panelů na 49° získáváme v létě asi o 4 % nižší výkon a v zimě dochází k nárůstu výkonu o 5 %. Při sklonu panelů na vyšší úhel než 49° nebo naopak nižší než 35° je již kontraproduktivní nejen pro léto, ale i pro zimní období. Z uvedeného textu vyplývá, že záleží na specifikaci celkového systému, abychom mohli dosáhnout optimálních parametrů. [3]

Teplotní koeficient výkonu udává pokles výkonu fotovoltaického panelu v závislosti na rostoucí teplotě fotovoltaických panelů. Maximální výkon panelů totiž klesá s jejich rostoucí teplotou. Hodnoty teplotního koeficientu pro polykrystalické panely použité v aplikaci jsou okolo 0,42 %/°C a pro tenkovrstvé panely cca 0,2 %/°C. [3]

Garance životnosti, jak u tenkovrstvých, tak u krystalických panelů, bývá garantována maximálním snížením výkonu o 10 % po 10 letech. Tudíž je vhodné zohlednit tyto údaje při výpočtu fotovoltaického generátoru.

5.1.3 Dimenzování měničů napětí a solárních regulátorů

Je důležité si uvědomit, že měniče napětí, pro malé systémy využívané v off-grid aplikacích, výrobci produkují již dlouhou dobu a původním záměrem nebylo jejich využití v rámci FV systémů.

Standardní využití těchto měničů, se kterým výrobci počítali, bylo napájení konkrétního spotřebiče z akumulátoru. Tudíž akustický signál při dosažení nízké hodnoty napětí

na akumulátorech (cca 10,5 V) byl dostatečný a odpojení zátěže kolem cca 9,5 V je pouze poslední možností před zničením akumulátorů. Přičemž nesmíme dopustit tak hlubokého vybíjení akumulátorů. Hodnoty napětí, při kterých je akumulátor odpojen, jsou různé u různých typů měničů. Výrobci, bohužel, nepostupují příliš koordinovaně a často i v rozporu s tím, co je vhodné pro běžné akumulátory. A to znamená, že se stále nebere ohled na tuto možnost využití a na skutečnou optimalizaci hodnot pro včasné odpojení akumulátorů.

V případě využití těchto měničů je nutné aplikovat jednu z možností zamezení vybíjení akumulátorových baterií pod přípustnou mez. Jedna z možností, jak zajistit správnou hloubku vybití akumulátorů, je připojení měniče napětí na výstup LOAD. Tato možnost je přípustná pouze v případě, že jmenovitá hodnota proudu solárního regulátoru bude dostatečná k přenesení požadovaného výkonu. Např. pokud se bude z měniče napětí odebírat 1000 W, tak to znamená proud na vstupu (i se ztrátami v měniči) téměř 100 A (u 12 V měniče) a to zvládne málokterý LOAD výstup solárního regulátoru. Druhou možností je využití komerčních odpojovačů na velké proudy, které jsou bohužel často finančně náročné. V praxi se někdy využívají levnější komerční odpojovače a k němu připojený stykač na vysoké proudy s co nejmenším vlastním odběrem proudu.

Problém není pouze s odpojením akumulátorů, ale i s odpojením samotného měniče, pokud se nepoužívá, jelikož má relativně velký stand-by odběr elektrické energie a tudíž dokáže i ve stand-by režimu spotřebovat velké množství naakumulované energie. Jedno takové typické řešení z praxe, funguje tak, že k měniči napětí je připojena lednice s mechanickým termostatem. Přičemž termostat nespíná přímo kompresor, ale měnič napětí, ke kterému je kompresor připojen. Tudíž je měnič napětí fyzicky připojen pouze v případě, když je z termostatu „odeslán“ požadavek na zapnutí kompresoru.

Dalším velice podstatným problémem je, že většina výše zmíněných „automobilových“ měničů napětí nemá galvanicky oddělený vstup od výstupu. Z tohoto důvodu je možné bezpečně provozovat pouze spotřebiče třídy II. Přesto jsou tyto měniče vybaveny zásuvkou s ochranným kolíkem. Tudíž tyto automobilové měniče napětí nelze jednoduše a bezpečně provozovat v sítích TN–C (TN–C–S), jelikož mezi libovolnou zdířkou a kostrou měniče je 115 V. Tudíž v případě využívání spotřebičů třídy I je nutné využít měniče napětí s galvanickým oddělením. [37]

6. SESTAVENÍ EXCELOVSKÉ APLIKACE (OFVMS) PRO NÁVRH FVE V OSTROVNÍM REŽIMU

Základní myšlenkou na sestavení této aplikace (OFVMS) je možnost porovnání jednotlivých komponentů a technologií v celém výkonovém spektru od miniaplikací až po rozsáhlé domovní aplikace. V současné době na trhu neexistuje obdobná takto komplexní aplikace. Následujícím požadavkem bylo vytvoření teoreticky nekonečné databáze jednotlivých komponentů, z kterých bude možné vybírat jednotlivé součásti právě pro konkrétní aplikace. Pro svoji jednoduchost a rozšířené využívání byl použit k tvorbě aplikace Excel. Ambicí této aplikace není co nejjednodušší návrh fotovoltaického ostrovního systému, ale možnost přímo porovnat jednotlivé technologie, respektive přístupy k návrhu fotovoltaického ostrovního systému.

Program je koncipován jako databázový a je tudíž možné pracovat s libovolným množstvím jak používaných komponentů v ostrovních aplikacích tak navrhovaných spotřebičů. Dále je taktéž možné následně přidávat další parametry jednotlivých komponentů.

6.1 Databáze jednotlivých komponentů

Aplikace je rozdělena do osmi listů. Všechny databáze jednotlivých komponentů obsahují ID výrobku, vlastní název prvku, cenu s DPH a elektronický zdroj, na kterém lze nalézt datasheet daného zařízení. U solárních regulátorů, akumulátorů a měničů napětí je také uvedena hodnota účinnosti daného zařízení. Popis jednotlivých listů začneme od databáze solárních regulátorů, která je zobrazena na obr. 6.1.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
1	ID	Solární regulátor	MPPT	Un [V]	In [A]	Umin [V]	Uoc [V]	Baterie	Účinnost [-]	Ztráty on [W]	Ztráty stand-by [W]	Cena [Kč]	Zdroj
2	101	Sunsaver 6,5A	0	12	6,5	11,5	30	VRLA	0,8	0,10	0,10	920	http://www.shop.sol
3	102	Sunsaver 10A	0	12/24	10	11,5	40	VRLA	0,8	0,19	0,19	1000	http://www.shop.sol
4	103	Sunsaver 20A	0	12/24	20	11,5	40	VRLA	0,8	0,19	0,19	1800	http://www.shop.sol
5	104	Sunsaver 15A, MPPT Solar Charge Controller	1	12/24	15	11	75	VRLA	0,95	0,84	0,84	6500	http://www.shop.sol
6	105	Morningstar Tristar 45A , 12,24,48V	1	12/24/36/48	45	11,5	150	VRLA/LiFePO4	0,95	4,00	1,68	7800	http://www.shop.sol
7	106	Morningstar Tristar 60A, 12,24,48V-1600W,3200W	1	12/24/36/48	60	11,5	150	VRLA/LiFePO4	0,95	4,00	1,68	10000	http://www.shop.sol
8	107	SOLAR BOOST 2000E, 25A, 12V	1	12	25	x	30	VRLA	0,95	0,84	0,20	4900	http://www.shop.sol
9	108	BlueSolar 10A	0	12/24	10	11,1	55	VRLA	0,80	0,14	0,14	980	http://www.mulac.cz
10	109	BlueSolar 20A	0	12/24	20	11,1	55	VRLA	0,80	0,14	0,14	1690	http://www.mulac.cz
11	110	MPPT solární regulátor BlueSolar MPPT 40A	1	12/24	40	10,8	55	VRLA	0,95	0,24	0,24	6990	http://www.mulac.cz
12	111	JUTA CM3024Z 30A	0	12/24	30	nast.	50	VRLA	0,80	0,72	0,72	1693	http://www.pvsolarc
13	112	WL/Power: Solární MPPT regulátor 12/24 V,	1	12/24	45	-	150	VRLA/LiFePO4	0,95	0,24	0,24	5800	http://www.i4wifi.cz/
14	113	GWL/Power: Solární MPPT regulátor 12/24 V	1	12/24	20	nast.	150	VRLA/LiFePO4	0,95	0,24	0,24	2850	http://www.i4wifi.cz/
15	114	Epsolar 4215	1	12/24	45	-	150	VRLA	0,95	0,24	0,24	6790	http://shop.mypowe
16	115	JUTA CM5048. 48V/50A s LCD displejem	0	48	50	42,8	100	VRLA	0,80	1,44	1,44	6368	http://vysilackymilin.
17	116	GWL/Power: Solární PWM regulátor 12/24/36/48 V	0	12/24/36/48	60	11,1	64	VRLA/LiFePO4	0,80	0,20	0,20	5329	http://www.i4wifi.cz/
18	117	BZ MPPT 500 42A 12/24/48V DC	1	12/24/48	42	-	100	VRLA	0,95	0,20	0,20	5790	http://www.ostrovni-
19	118	Xantrex XW MPPT 60A	1	12/24/48	60	-	150	VRLA/LiFePO4	0,95	4,00	2,50	18000	http://shop.mypowe
20	119	Xantrex XW MPPT 80A	1	12/24/36/48	80	-	600	VRLA/LiFePO4	0,95	4,00	1,00	45150	http://www.oze-shop
21	120	Poslední položka	-	-	-	-		-	-			-	

Obr. 6.1 Databáze a parametry solárních regulátorů.

Solární regulátor je charakterizován zejména jmenovitým napětím a jmenovitým proudem. Dále je vhodné znát velikost napětí, kdy dochází k odpojení zátěže na výstupu LOAD. U MPPT solárních regulátorů je třeba znát maximální napětí naprázdno, abychom mohli správně nadimenzovat větev fotovoltaických panelů. U nejjednodušších solárních regulátorů nebývají uvedené hodnoty napětí naprázdno v datasheetech, jelikož se neuvažuje spojení fotovoltaických panelů do série, tudíž volíme hodnotu 30 V pro 12 V panely

a 40 V pro 24 V panely. Velmi důležitým údajem je adaptibilita jednotlivých solárních regulátorů na určité akumulátory, což lze zjistit ze sloupce H. Volbu typu VRLA akumulátoru lze provést v nastavení solárního regulátoru. U většiny solárních regulátorů je možné vybrat v nastavení regulátoru akumulátory zaplavené, gelové i AGM. V případě využití akumulátorů $LiFePO_4$ je nutné, buď zvolit speciální solární regulátor nebo regulátor, jehož nabíjecí napětí je plně nastavitelné. Dalším parametrem je účinnost, která je spojená s využíváním technologie MPPT. Posledním údajem jsou ztráty během provozu. U MPPT solárních regulátorů využívaných v domovních aplikacích lze vidět, že již mají odlišné hodnoty ztrát při provozu (zajištují monitoring) a stand-by režimu.

V následujícím listu, jak je patrné na obrázku 6.2, jsou sepsány měniče napětí.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
1	ID	Měnič napětí	GO - Galvanick	Sinusovka	Un [V]	Výkon [W]	Špičkově [W]	Umin [V]	Účinnost [-]	Ztráty on [W]	Ztráty stand-by [W]	Cena [Kč]	Poznámka	Zdroj
2	200	Bez inventoru - 12,24 V							1					
3	201	Microcontrol 12V/230V-300W	0	mod.	12	300	600	9,5	0,9			905		http://www.dera
4	202	Microcontrol 24V/230V-300W	0	mod.	24	300	600	19,5	0,9			972		http://www.dera
5	203	CAR700-122	0	mod.	12	700	1400	10	0,9	9,6	9,6	1580		http://www.dera
6	204	Microcontrol 24V/230V-600W	0	mod.	24	600	1500	20	0,9	8,4	8,4	1671		http://www.dera
7	205	Microcontrol 12V/230V-600W	0	mod.	12	600	1200	10	0,9	6	6	1696		http://www.dera
8	206	Měnič napětí 12V/230V - 1000W HQ	0	mod.	12	1000	2400	10	0,85	4,8	4,8	3189		http://www.dera
9	207	Měnič napětí P600U-242	0	čistá	24	600	1200	21	0,9	10,32	10,32	3352		http://www.dera
10	208	Měnič napětí 24V/230V	0	mod.	24	1500	3000	20	0,85	6,72	6,72	4319		http://www.dera
11	209	Měnič napětí 12V/230V - 1500W HQ	0	mod.	12	1500	3000	10	0,85	7,2	7,2	4967		http://www.dera
12	210	Měnič napětí P1000-122	0	čistá	12	1000	2000	10	0,9	9,96	9,96	5267		http://www.dera
13	211	Měnič napětí 12V/230V - 2500W HQ	0	mod.	12	2500	5000	10	0,85	16,8	16,8	8939		http://www.dera
14	212	Měnič napětí 24V/230V	0	mod.	24	2500	5000	20	0,85	14,4	14,4	8939		http://www.dera
15	213	Měnič napětí CAR4K-242	0	mod.	24	4000	8000	20	0,9	24	24	9219		http://www.dera
16	214	Měnič napětí CAR4K-122	0	mod.	12	4000	8000	10	0,9	24	24	9901		http://www.dera
17	215	Měnič napětí P2000-122, 12V/230V	0	čistá	12	2000	4000	10	0,9	16,8	3,36	9989		http://www.dera
18	216	MEAN WELL TS-3000-24	1	čistá	12/24/48	3000	6000	21	0,91	20	9	27234		http://www.tme.
19	217	Měnič napětí P2000-242	0	čistá	24	2000	4000	21	0,93	16,8	3,6	10080		http://www.dera
20	218	Střídač Studer AJ 2400-24	1	čistá	24	2000	5200	21	0,94	16	1,2	34000		http://www.ene
21	219	Steca Solarix 1000W 24V	1	čistá	24	1000	3000	21	0,94	10	0,7	15500		http://www.obch
22	220	Sunny Island 3324	1	čistá	24	3300	7300	21	0,94	22	4	43000	h-AC-input	http://www.sma
23	221	Sunny Island 4248	1	čistá	48	4200	11400	41	0,95	22	4	48790	h-AC-input	http://www.sma
24	222	Sunny Island 5048	1	čistá	48	5000	12000	41	0,95	22	4	57907	h-AC-input	http://www.sma
25	223	XTM 2400-24	1	čistá	24	2000	4800	19	0,94	10	1,4	68000	h-AC-input	http://solarni-p
26	224	C 4000-48	1	čistá	48	3500	10500	43,2	0,95	12	1,4	80000		http://solarni-p
27	225	Poslední položka		-	-	0	-	-	-			-	-	

Obr. 6.2 Databáze a parametry měničů napětí.

U měničů napětí nás zajímá především průběh výstupního napětí a jeho jmenovitá hodnota, také potřebujeme znát, jestli je měnič napětí galvanicky oddělen (GO). Dále je nutné znát hodnoty jmenovitého výkonu a špičkového výkonu. Hodnota špičkového výkonu je udávána pouze pro rozběh daného zařízení, nikoliv pro delší zatížení např. 5 s. Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.4 odpínaní měniče napětí při dosažení minimálního napětí U_{min} nelze využít, tudíž jsou zde uvedeny tyto hodnoty pouze jako ilustrační. Velmi významnou položkou pro dimenzování celého fotovoltaického systému jsou ztráty ve stand-by režimu a při provozu. V poznámce je ještě uvedeno, jestli se jedná o hybridní střídač.

Následující databáze obsahuje VRLA nebo $LiFePO_4$ akumulátory. U ventilem řízených akumulátorů jsou uvedeny jednotlivé typy – zaplavené, AGM, gelové. Následující hodnotou je provozní napětí akumulátorů. U $LiFePO_4$ jsou uvedeny hodnoty napětí pro jednotlivé články. V případě $LiFePO_4$ je nutné poznamenat, že je třeba mezi články nainstalovat ochranný a balancovací obvod, který zajišťuje rovnoměrné nabíjení jednotlivých článků (není započítán v ceně). Následuje rozsah pracovních teplot, dle kterých můžeme rozhodnout, jestli mohou být akumulátory uloženy ve venkovním stání. S ohledem na vlastnosti akumulátorů, které jsou závislé na teplotě je třeba tuto možnost velmi zvážit. Následující parametry ukazují počet cyklů, které akumulátor vydrží při dané hloubce vybití (50% a 80%). Dále jsou také velmi důležité následující hodnoty patrné z obrázku 6.3:

- Kapacita při 100 h. vybíjení – C_{100}
- Proud při 100 h. vybíjení – I_{100}
- Velikost napětí u vybitého akumulátoru při 100 h. vybíjení– $U_{(100)}$
- Kapacita při maximálním vybíjecím proudu – C_{min}
- Maximální vybíjecí proud – I_{min}
- Velikost napětí u vybitého akumulátoru v případě max. vybíjecího proudu – $U_{(min)}$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
1	ID	Akumulátor	Technologie	Typ	Un [V]	Teplota min [°C]	Teplota max [°C]	Počet cyklů 50%[-]	Počet cyklů 80%[-]	Účinnost [-]	C100 [Ah	I100 [A]	Umin(100) [V	Cmin [Ah	Imin [A]	Umin(10)	Cena [Kč	Zdroj
2	301	Aku Hoppecke 58Ah	VRLA	AGM	12	-10	40	1500	700	0,9	58,3	0,6	11,1	50,0	5,0	10,8	4622	http://esh
3	302	Aku Hoppecke 70Ah	VRLA	AGM	12	-10	40	1500	700	0,9	70,0	0,7	11,1	60,0	6,0	10,8	5749	http://esh
4	303	Aku Hoppecke 80Ah	VRLA	AGM	12	-10	40	1500	700	0,9	81,7	0,8	11,1	70,0	7,0	10,8	5989	http://esh
5	304	Aku Hoppecke 90Ah	VRLA	AGM	12	-10	40	1500	700	0,9	93,3	0,9	11,1	80,0	8,0	10,8	6450	http://esh
6	305	Aku Hoppecke 105Ah	VRLA	AGM	12	-10	40	1500	700	0,9	105,0	1,1	11,1	90,0	9,0	10,8	7222	http://esh
7	306	Aku Hoppecke 135Ah	VRLA	AGM	12	-10	40	1500	700	0,9	134,2	1,3	11,1	115,0	11,5	10,8	8170	http://esh
8	307	Aku Hoppecke 150Ah	VRLA	AGM	12	-10	40	1500	700	0,9	151,7	1,5	11,1	130,0	13,0	10,8	9401	http://esh
9	308	OPzV bsp 120 - Hoppecke	VRLA	GEL	12	-10	40	2000	1400	0,9	120,0	1,2	11,1	84,0	16,8	10,6	16579	http://www
10	309	OPzV bsp 150 - Hoppecke	VRLA	GEL	12	-10	40	2000	1400	0,9	180,0	1,8	11,1	126,5	25,3	10,6	22608	http://www
11	310	Hoppecke OPzS Solar Bloc 70	VRLA	Zaplavené	12	-10	40	2200	1300	0,9	70,0	0,7	11,1	44,0	8,8	10,6	8808	http://www
12	311	Hoppecke OPzS Solar Bloc 130	VRLA	Zaplavené	12	-10	40	2200	1300	0,9	130,0	1,3	11,1	88,0	17,6	10,6	12481	http://www
13	312	WB-LYP40AHA LiFeYPO4 (3.2V/40Ah)	LiFePO4	LiFePO4	3,2	-45	85	-	3000	0,9	40,0	20,0	2,5	40,0	120,0	2,5	1404	http://www
14	313	WB-LYP60AHA LiFeYPO4 (3.2V/60Ah)	LiFePO4	LiFePO4	3,2	-45	85	-	3000	0,9	60,0	30,0	2,5	60,0	180,0	2,5	2088	http://www
15	314	WB-LYP90AHA LiFeYPO4 (3.2V/90Ah)	LiFePO4	LiFePO4	3,2	-45	85	-	3000	0,9	90,0	45,0	2,5	90,0	270,0	2,5	3096	http://www
16	315	WB-LYP100AHA LiFeYPO4 (3.2V/100Ah)	LiFePO4	LiFePO4	3,2	-45	85	-	3000	0,9	100,0	50,0	2,5	100,0	300,0	2,5	3456	http://www
17	316	WB-LYP160AHA LiFeYPO4 (3.2V/160Ah)	LiFePO4	LiFePO4	3,2	-45	85	-	3000	0,9	160,0	80,0	2,5	160,0	480,0	2,5	5508	http://www
18	317	WB-LYP200AHA LiFeYPO4 (3.2V/200Ah)	LiFePO4	LiFePO4	3,2	-45	85	-	3000	0,9	200,0	100,0	2,5	200,0	600,0	2,5	6876	http://www
19	318	WB-LYP200AHA LiFeYPO4 (3.2V/400Ah)	LiFePO4	LiFePO4	3,2	-45	85	-	3000	0,9	400,0	200,0	2,5	400,0	1200,0	2,5	13728	http://www
20	319	Poslední položka	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Obr. 6.3 Databáze a parametry akumulátorů.

Databáze panelů na obr. 6.4 obsahuje typ panelů, které budeme využívat a to buď polykrystalické nebo tenkovrstvé. Dále také obsahuje parametry:

- jmenovité napětí - 12 V nebo 24 V – U_n
- jmenovitý výkon panelu – P
- maximální napětí a proud – U_{max} a I_{max}
- napětí naprázdno a proud nakrátko – U_{0c} a I_{sc}

Mezi důležité patří i hodnota napětí naprázdno, z které je následně odvozen výpočet panelů potřebných k zajištění dostatečné energie.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	ID	Panel	Typ	Un [V]	Výkon [W]	Umax [V]	Imax [A]	U0c [V]	Isc [A]	Cena [Kč]	Zdroj
2	401	Fotovoltaicky panel 70	poly	12	70	17,81	3,93	22,7	4,3	4873	http://kre
3	402	Fotovoltaicky panel 95	poly	12	95	18,19	4,95	22	5,65	6887	http://kre
4	403	Fotovoltaicky panel 120	poly	12	120	18,19	4,95	22	5,65	7658	http://kre
5	404	Solon Blue 220 Wp	poly	24	220	28,8	7,65	36,4	8,3	7866	http://ww
6	405	Solon Blue 225 Wp	poly	24	225	28,9	7,8	36,6	8,4	9500	http://ww
7	406	Solon Blue 230 Wp	poly	24	230	29	7,95	36,7	8,55	11400	http://ww
8	407	Solon Blue 235 Wp	poly	24	235	29,2	8,05	36,9	8,65	12900	http://ww
9	408	Solon Blue 240 Wp	poly	24	240	29,4	8,1	40	8,7	14000	http://ww
10	409	Schott ASI103	amorf	12	100	17,5	5,71	23,8	6,79	5700	http://wif
11	410	Poslední položka	-	-	0	-	-	-	-	-	

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	ID	Typ	Výst.[V]	Výkon [W]	Počet fází	Spotřeba [kWh/l]	Startování	Cena [Kč]	Zdroj
2	500	POUZE LETNÍ PROVOZ	-	-	-	-	-	0	
3	501	KIPOR KGE 2500X	12	2000	jednofázové	1,27	mechanické	8520	http://.
4	502	Kipor KGE6500X	12	5000	jednofázové	1,34	mechanické	21120	http://.
5	503	WOODSTER GP 30	230	2800	jednofázové	0,54	mechanické	5870	http://.
6	504	Heron EGM 55 AVR-1E	230	5000	jednofázové	0,54	elektrické	26000	http://.
7	505	Heron EGM 65 AVR-3	400/230	6500	třífázové	0,45	elektrické	26357	http://.
8	506	Poslední položka	-	-	-	-	-	-	

Obr. 6.4 Databáze a parametry fotovoltaických panelů a elektrocentrál.

Poslední zařízení, které uvažujeme v hybridním fotovoltaickém systému, je druhý nezávislý zdroj elektrické energie - elektrocentrála. U tohoto zařízení nás zajímá jmenovité napětí, výkon, počet fází, spotřeba paliva vztažená na 1 kWh a typ startování. V případě elektrického startování lze celý systém zautomatizovat a provozovat ho jako téměř bezobslužný.

Na obrázku 6.5 lze vidět vytvořenou databázi jednotlivých spotřebičů a jejich charakteristické vlastnosti. Základním parametrem je jmenovité napětí, na kterém spotřebič pracuje. V případě stejnosměrného napětí se uvede v tabulce hodnota 12, 24 respektive 48 V. V případě střídavého napětí zapíšeme do tabulky 230 V. Dále je nutné znát, jestli je dané zařízení schopné pracovat s modifikovanou sinusovkou a následně se zadá požadovaný tvar vstupního napětí. Velice důležitou položkou je odložený start, který má velký význam při výpočtu celého systému a proto je mu třeba dbát zvýšenou pozornost. Do odloženého startu by měly být zahrnuty všechny spotřebiče, jejichž provoz může uživatel odložit na dobu se zvýšenou intenzitou. Další podstatným faktem je, že položky v odloženém startu nepracují ve stejnou dobu (čímž se snižuje potřebný výkon měniče napětí, SR apod.). Tudíž všechny spotřebiče, které nepovažujeme za nezbytně nutné, by měly být označeny 1 v kolonce „Odložený start“. U domovních aplikací je třeba zvážit komfort jednotlivých uživatelů. Dále je uveden maximální výkon daných spotřebičů a jejich špičkový výkon. Maximální hodnotou je štítková hodnota zařízení uvedená na každém spotřebiči. Ve spodní části je uvedená legenda, která se týká právě volby hodnot pro špičkový výkon. V kolonce P_{real} lze uvést předpokládanou hodnotu spotřeby zařízení v případě, že se liší od štítkové hodnoty maximálního výkonu (např. štítková hodnota LCD televize je 100 W, ale uživatel ji bude provozovat při snížené intenzitě jasu a tudíž LCD televize bude mít stálý odběr pouze 80 W nebo v případě pračky, kdy se udává spotřebovaná energie za jeden prací cyklus). U malých systémů je vhodné změřit reálný příkon spotřebičů, jelikož se tato hodnota nemusí shodovat se štítkovou hodnotu a bývá obvykle nižší. Následně se uvede předpokládaný čas provozu jednotlivých spotřebičů a automaticky se dopočítá potřebná elektrická energie.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	ID	Spotřebič	AC/DC	Sinusovka	Odložený start	P_{max} [W]	$P_{špič}$ [W]*	P_{real} [kW]	Čas provozu [h]	Spotřeba [kWh]	Zdroj
2	0	-	0	-	0	0	0	0	0	0	
3	1	osvětlení	230	mod.	0	85	85	0,085	5	0,425	
4	2	vodárna	230	mod.	0	1000	6000	1	1	1	
5	3	Foxtrot -VS	230	mod.	0	5	5	0,005	24	0,12	
6	4	osvětlení	12	mod.	0	30	30	0,03	3	0,09	
7	5	TV LCD	12	mod.	0	48	48	0,048	5	0,24	
8	6	chladnička	12	mod.	0	62	62	0,062	24	1,488	http:/
9	7	TV LCD	230	mod.	0	127	254	0,08	4	0,32	
10	8	NB	230	mod.	1	75	150	0,075	3	0,225	
11	9	poslední položka	-	-	-	-	-	-	-		
12											
13	legenda:										
14	* Pro napájení asynchronních motorů(oběhová čerpadla, okružní pily, frézky, malé soustruhy)= 6 - 8 x Pel										
15	* Pro napájení motorů s komutátorem (ruční el. náhadí, jako vrtačky, frézy, ruční okružní pily, brusky, cále vysavače apod.) = 3 x Pel										
16	* Spotřebiče se spínaným napájecím zdrojem (notebooky, PC, servery, nabíječky apod.) = 2 x Pel										
17	* Lednice, mrazáky = 15 x Pel										
18											

Obr. 6.5 Databáze a parametry použitých spotřebičů.

6.2 Výpočetní mechanizmus aplikace

Jak je patrné z obrázku 6.6, výpočet je proveden na samostatném listu a lze ho rozdělit do tří částí. Dále ještě obsahuje 2 menší tabulky. V první je přehledně patrná závislost proudu na jmenovitém napětí systému pro jednotlivé zátěže. Druhá slouží k výpočtu potřebného průřezu kabelu mezi FV generátorem a technickou místností, případně mezi technickou místností a spotřebičem. Komponenty na tomto listu lze volit pomocí charakteristického ID čísla nebo pomocí posuvníku na levé straně. Postup volby jednotlivých prvků a celkové vyhodnocení systému provedeme následovně.

Volba spotřebičů

ID	Spotřebič	OS	AC/DC	Sinusovka	Pmax [W]	Pšpič [W]*	Preal [kW]	Čas provozu [h]	Spotřeba [kWh]
1	osvětlení	0	230	mod.	85	85	0,085	5	0,425
2	vodárna	0	230	mod.	1000	6000	1	1	1
3	Lednice	0	230	mod.	80	1200	0,0172	24	0,413
4	TV LCD	0	230	mod.	127	254	0,08	4	0,32
5	NB	1	230	mod.	75	150	0,075	3	0,225
6	NB	0	230	mod.	85	170	0,075	7	0,525
7	Rychlovarná konvice	1	230	mod.	950	950	0,95	0,1	0,095
10	mikrovlnka	1	230	mod.	900	900	0,9	0,1	0,09
8	pračka/myčka	1	230	mod.	2000	2000	0,65	0,8	0,52
10	mikrovlnka	1	230	mod.	900	900	0,9	0,1	0,09
12	Foxtrot -VS	0	230	mod.	5	5	0,005	24	0,12
Σ	suma				3382	9714	4,737	24	3,823

Tabulka výkonů a systémových napětí

W/V [A]	12	24	48
100	8	4	2
200	17	8	4
300	25	13	6
500	42	21	10
1000	83	42	21
2000	167	83	42
2880	240	120	60

Výpočet průřezu (úbytek do 5%)

	vzdálenost [m]	průřez [mm²]
FV - Technická místnost	7	4,01625
Technická míst. - spotřebič	5	0

Jmen. Hodnoty: 1,5;2,5;4;6;10;16;25;35;50;70

Zadání parametrů systému

Un [V]	48
Počet dní se sníženou intenzitou	4
DoD [%]	80
Venkovní stání (t_{min})	-10
1Wp [Wh/den] - letní provoz	2,8
1Wp [Wh/den] - celoroční provoz	1,5
Množství vyrobené energie z EC [%]	25
Připojení na výstup LOAD	1
Galvanické oddělení - GO	1

Okrajové podmínky pro výběr

Výkon měniče napětí [W]	500
Kapacita akumulátoru[Ah]	30
Jmenovitý proud SR [A]	30
Provoz letní x celoroční	Letní
Počet cyklů	3000

Výpočty proudu

I_{FV} [A]	38,25
I_{max} [A]	70,5
$I_{max(AKU)}$ [A]	1800

	Sériově	Paralelně
Počet akumulátorů	15	10
Počet FV modulů	2	5

Solární regulátor

ID	Solární regulátor	MPPT	Un [V]	U_{OC} [V]	In [A]	baterie	Umin [V]	Účinnost [-]	Ztráty on [W]	Ztráty SB [W]	Cena [Kč]
107	SOLAR BOOST 2000E, 25A	1	12	30	25	VRLA	x	0,95	0,84	0,204	4900

Měnič napětí

ID	Měnič napětí	GO	sinusovka	Un [V]	Výkon [W]	Špičkově [W]	Umin [V]	Účinnost [-]	Ztráty on [W]	Ztráty SB [W]	Cena [Kč]
221	Sunny Island 4248	1	čistá	48	4200	11400	41	0,95	22	4	48790

Akumulátor

ID	Akumulátor (článek)	Typ	Un [V]	t_{min} [°C]	Počet cyklů 50%	Počet cyklů 80%	Účinnost [-]	C100 [Ah]	I100 [A]	Umin(100) [V]	Cmin [Ah]	Imax [A]	Umin [V]	Cena [Kč]
313	WB-LYP60AHA LiFeYPO4 (3.2V/60Ah)	LiFePO4	3,2	-45	-	3000	0,9	60	30	2,5	60	180	2,5	2088

Panely

ID	Panely	Typ	Un [V]	Výkon [W]	U_{mpp} [V]	I_{mpp} [A]	U_{OC} [V]	I_{SC} [A]	Cena [Kč]
404	Solon Blue 220 Wp	poly	24	220	28,8	7,65	36,4	8,3	7866

Elektrocentrála

ID	Název	Typ	Un [V]	Výkon [W]	Spotřeba [kWh/l]	Startování			Cena [Kč]
500	POUZE LETNÍ PROVOZ	-	-	-	-	-			0

Finanční vyhodnocení

Cena za 1 Kwh [Kč]	4
Ušetřená poč. investice [Kč]	4500
Kč/měsíc [Kč]	458,76
Prostá doba návratnosti [měsíc]	972

Energie potřebná na krytí ztrát [Wh]	548
Výpočet potřebné energie [Wh]	5255
Výpočet výkonu FVG [Wp]	1877
Kapacita akumulátorů [Ah]	547

Náklady na ostrovní systém

Cena za komponenty [Kč]	445550
Náklady na 1 kWh [Kč]	84789
Náklady na akumulaci 1 kWh [Kč]	59602

Obr. 6.6 Výpočet a vyhodnocení výsledků pomocí OFVMS.

Nejdříve provedeme volbu zadaných spotřebičů, které vybíráme z databáze spotřebičů. Jednotlivé položky můžeme nastavovat pomocí posuvníků v levé části tabulky. Do tabulky lze vložit až 10 spotřebičů, přičemž nemá žádný vliv, na kterém místě tabulky se daný spotřebič nachází. Je velmi důležité si uvědomit, že při editování položek v tabulce nedochází k provázání vzorců z databáze spotřebičů, tudíž je třeba editovat položky v databázi spotřebičů.

Na posledním řádku tabulky použitých spotřebičů je možné sledovat sumu maximálních příkonů, špičkových příkonů, reálných příkonů, celkový čas a spotřebované množství energie za jeden den. Čas provozu je důležitá veličina, z které se dopočítávají ztráty v solárním regulátoru a měniči napětí. V případě, že známe soudobost spotřebičů a jejich vzájemné překrývání v průběhu dne, je vhodnější odhadnout čas, po který běží tyto dvě zařízení současně a doplnit tuto hodnotu ručně. V případě prostého zesumírování jednotlivých položek dochází k částečnému nadimenzování systému. Výpočet maximálního výkonu a špičkového výkonu je již z principu závislý na odloženého startu. V případě volby více spotřebičů s odloženým startem je započítána pouze nejvyšší hodnota příkonu ze skupiny těchto spotřebičů. Posledním bodem, který je v tabulce vyhodnocován, je průběh vstupního napětí. V případě alespoň jednoho prvku, který potřebuje ke spolehlivému chodu čistý průběh sinusové napětí, je v tabulce tento parametr zaznamenán.

Dále provedeme zadání systémových parametrů v dané tabulce, kterou lze vidět na obr. 6.7.

Tabulka výkonů a systémových napětí

W/V [A]	12	24	48
100	8	4	2
200	17	8	4
300	25	13	6
500	42	21	10
1000	83	42	21
2000	167	83	42
2880	240	120	60

Zadání parametrů systému

Un [V]	48
Počet dní se sníženou intenzitou	5
DoD [%]	80
Venkovní stání (t_{min})	-10
1Wp [Wh/den] - letní provoz	2,8
1Wp [Wh/den] - celoroční provoz	1,5
Množství vyrobené energie z EC [%]	25
Připojení na výstup LOAD	1
Galvanické oddělení - GO	1

Okrajové podmínky pro výběr

Výkon měniče napětí [W]	500
Kapacita akumulátoru[Ah]	30
Jmenovitý proud SR [A]	30
Provoz letní x celoroční	Letní
Počet cyklů	3000

Obr. 6.7 Tabulka pro zadání systémových parametrů.

Jako první položka je volba systémového napětí. Při volbě systémového napětí se můžeme orientovat dle zelené tabulky uvedené vedle tabulky pro zadávání parametrů. A to dle maximálního příkonu a námi požadovaného proudu. Také můžeme využít tabulku 5 – 1. Po zadání jmenovitého napětí volíme dimenzování akumulátorových baterií zadáním počtu dní se sníženou intenzitou a DoD. Deph of discharge je předpokládaná hloubka vybíjení. U tohoto parametru je na výběr ze dvou možností 50 % a 80 %. Hloubce vybíjení je přímo úměrný počet cyklů a tedy životnost bateriového systému. Dalším bodem je zadání minimální teploty okolí, což se týká především venkovního stání. Bateriový systém je možné umístit i do krytého venkovního stání, kde jsou velmi nízké teploty. Vhodnější ovšem je použít technickou místnost, kde je stála teplota cca 20 °C a lze zabezpečit dostatečné větrání přebytečného tepla, vzniklé především ztrátami v jednotlivých komponentech. Následující hodnoty udávají, kolik vyrobí jeden instalovaný Wp elektrické energie. Přičemž letní hodnota se uvažuje jako nejnižší hodnota ve sledovaném období. V případě celoročního provozu do kolonky zimního období vložíme průměrnou hodnotu za měsíce listopad – únor. Tyto hodnoty získáme na webových stránkách PVGIS [32], podrobný postup bude popsán v kapitole 7.1. Pakliže budeme provozovat ostrovní systém po celý rok, budeme uvažovat jako druhý nezávislý zdroj elektrocentrálu a je třeba uvést kolik procent, bude dodáno elektrocentrálou v zimním období v následující kolonce. Poslední volbou je možnost připojení měniče napětí na výstup LOAD ze solárního regulátoru, týká se to měničů napětí, které nemají nastavitelnou hodnotu odpínání od akumulátorových baterií. V případě, že nebude tato volba provedena, je nutné vyřešit odpínání měniče napětí od akumulátorů jiným způsobem (DC odpínač – napěťové relé). Více o této tématice bylo uvedeno v kapitole 5.1.3. Následně lze nastavit okrajové podmínky pro volbu příkonu měniče napětí, kapacity akumulátorových baterií a jmenovitého proudu pro výběr solárního regulátoru. Fialově napsané hodnoty jsou závislé na již nastavených parametrech a přehledně ukazují počet cyklů a letní nebo celoroční provoz. Přičemž výpočet pro celoroční provoz ostrovního systému nastává ve chvíli, kdy volíme požadovanou elektrocentrálu.

Nyní se podíváme na volbu jednotlivých komponentů. Jak již bylo zmíněno, tak zadávat jednotlivé komponenty lze buď charakteristickým ID číslem nebo kurzorem vedle tabulky. Na obrázku 6.8 lze vidět příklad podbarvení buněk. Zelená barva znamená, že je daný parametr komponenty v pořádku s výpočtem, zadáním nebo v návaznosti na jinou komponentu. U ukázkového příkladu bylo zvoleno systémové napětí 48 V. Tudíž, jak je patrné z obrázku 6.8, položka U_n u solárního regulátoru a měniče napětí má červenou výplň. Dále je zvolen solární regulátor, který dokáže bezchybně dobíjet pouze VRLA baterie, proto je na tuto možnost upozorněno. Oranžová barva značí výskyt hodnot, u kterých není zcela splněna podmínka, přičemž ve specifických případech ji nelze splnit. Na příkladu lze vidět, že jsme zvolili klasický polykrystalický panel, který neodpovídá systémovému napětí. Je třeba tuto podmínku začlenit, jelikož může nastat stav, kdy zvolíme jmenovité napětí systému 24 V, ale vybrán bude 12 V panel a tudíž je třeba upozornit na možnou změnu prvku. Druhá varianta pro oranžovou výplň je u měniče napětí. Zvolili jsme měnič napětí, jehož výstupní napětí má čistě sinusový průběh. Jelikož jsme ovšem nezadali spotřebič,

který potřebuje ke svému chodu čisté sinusové napětí (stačí modifikovaná sinusovka ke správnému chodu systému), je na tento stav upozorněno. Světle zelené položky s přechodem značí naše okrajové podmínky. V příkladu je vybrán měnič napětí se jmenovitým výkon 4200 W a špičkovým výkonem 11400 W. Diference byla zvolena na 500 W. Spotřebiče mají příkon 5000 W a 12000 W špičkově. Z tohoto důvodu jsou výkony označeny odlišně. Jak je patrné z obrázku, okrajové podmínky jsou použity i u kapacity, kde taktéž není vybrán nejvhodnější akumulátor.

Solární regulátor

ID	Solární regulátor	MPPT	Un [V]	Uoc [V]	In [A]	baterie	Umin [V]	Účinnost [-]	Ztráty on [W]	Ztráty SB [W]	Cena [Kč]
107	SOLAR BOOST 2000E, 25A,	1	12	30	25	VRLA	x	0,95	0,84	0,204	4900

Měnič napětí

ID	Měnič napětí	GO	sinusovka	Un [V]	Výkon [W]	Špičkově [W]	Umin [V]	Účinnost [-]	Ztráty on [W]	Ztráty SB [W]	Cena [Kč]
221	Sunny Island 4248	1	Čistá	48	4200	11400	41	0,95	22	4	48790

Akumulátor

ID	Akumulátor (článek)	Typ	Un [V]	tmin [°C]	Počet cyklů 50%[	Počet cyklů 80%[-	Účinnost [-]	C100 [Ah]	I100 [A]	Umin(100) [V]	Cmin [Ah]	Imax [A]	Umin [V]	Cena [Kč]
313	WB-LYP60AHA LiFeYPO4 (3.2V/60Ah)	LiFePO4	3,2	-45	-	3000	0,9	60	30	2,5	60	180	2,5	2088

Panely

ID	Panely	Typ	Un [V]	Výkon [W]	umax [V]	Imax [A]	Uoc [V]	Isc [A]	Cena [Kč]
404	Solon Blue 220 Wp	poly	24	220	28,8	7,65	36,4	8,3	7866

Elektrocentrála

ID	Název	Typ	Un [V]	Výkon [W]	Spotřeba [kWh/l]	Startování			Cena [Kč]
500	POUZE LETNÍ PROVOZ	-	-	-	-	-			0

Obr. 6.8 Volba jednotlivých komponentů.

Poslední částí výpočtového listu jsou vlastní výsledky uvedené v pravém dolním rohu výpočtového listu.

Výpočty proudu

IFV [A]	38,25
Imax [A]	70,5
Imax(AKU) [A]	1800

		Sériově	Paralelně
Počet akumulátorů	150	15	10
Počet FV modulů	10	2	5

Energie potřebná na krytí ztrát [Wh]	548
Výpočet potřebné energie [Wh]	5255
Výpočet výkonu FVG [Wp]	1877
Kapacita akumulátorů [Ah]	547

Finanční vyhodnocení

Cena za 1 Kwh [Kč]	4
Ušetřená poč. investice [Kč]	4500
Kč/měsíc [Kč]	458,76
Prostá doba návratnnosti [měsíc]	972

Náklady na ostrovní systém

Cena za komponenty [Kč]	445550
Náklady na 1 kWh [Kč]	84789
Náklady na akumulaci 1 kWh [Kč]	59602

Obr. 6.9 Zobrazení výsledků při návrhu FV systému v ostrovním režimu.

Na obr. 6.9 jsou uvedené hodnoty proudů: z fotovoltaického generátoru, velikost proudu vypočítaná z maximálního výkonu a maximální hodnota odebíraného proudu z akumulátorových baterií. Tyto hodnoty jsou uvedeny z důvodu vzájemného porovnání a správného nadimenzování solárního regulátoru a akumulátorů, dále se také od velikosti proudů odvíjí volba systémového napětí.

V tabulce s výsledky jsou vypočítány hodnoty energie pro krytí ztrát a sumu elektrické energie, které je potřeba vyrobit každý den. Z této hodnoty se vypočítá potřebný výkon fotovoltaického generátoru a potřebná kapacita akumulátorů, která je závislá na počtu dní se sníženou sluneční intenzitou. Tyto hodnoty nám slouží k nadimenzování počtu

akumulátorů a fotovoltaických panelů. Následně je uvedeno jejich sériově – paralelní propojení.

Na závěr jsou uvedeny náklady na ostrovní systém a finanční zhodnocení. V nákladech na ostrovní systém je stanovená celková cena ostrovního systému, náklady na 1 kWh vyrobené elektrické energie a náklady na 1 kWh akumulované energie (cena za akumulátory vztažené na jednu kWh). Poslední částí je zjednodušené finanční vyhodnocení, které slouží k výpočtu prosté doby návratnosti, v případě porovnání s vybudováním elektrické přípojky. Po zadání potencionální ceny elektrické energie a ceny za vybudování elektrické přípojky, dostaneme měsíční úsporu Kč/měsíc a prostou dobu návratnosti.

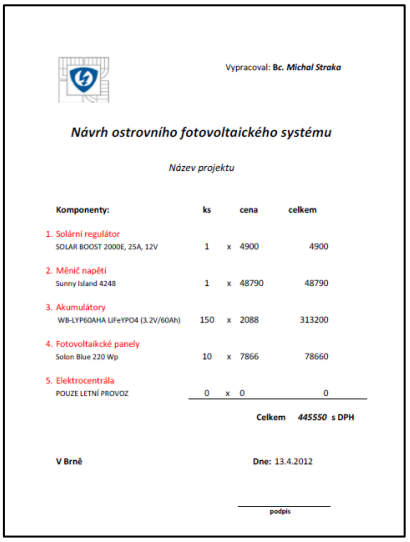
Výpočetní mechanizmus

Výpočet je sestaven tak, že nejdříve dochází k výpočtu celkové spotřeby. Dále tuto hodnotu navýšíme o účinnosti jednotlivých prvků a přičteme energii potřebnou na krytí ztrát, čímž obdržíme výslednou hodnotu potřebné energie. Z této hodnoty vypočítáme jak kapacitu akumulátorů, tak velikost fotovoltaického generátoru.

Ve výpočtu jsou zavedeny některá zjednodušení. Potřebná energie se počítá s účinností všech zařízení. V případě využití výstupu LOAD v době s dostatečnou sluneční aktivitou nebude elektrická energie procházet přes akumulátory a tudíž skutečná hodnota potřebné energie bude nižší. Další zjednodušení je v případě stanovení času provozu, jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole. Převážně u domovních aplikací je vhodnější tuto hodnotu odhadnout a stanovit ručně. Tyto zjednodušení ovlivňují aplikaci nepatrně a jsou nastaveny tak, že množství vypočítané potřebné energie je vyšší, než skutečná hodnota.

6.3 Výstupní list

Poslední položkou je výstupní list, jak je patrné na obrázku 6.10. Na výstupním listu je uvedená hlavička firmy (školy), která daný systém nabízí a jméno autora, který návrh provedl. Následuje název projektu a vlastní název použitých komponentů. Dále cena komponentů s DPH za kus a jednotkové množství komponent, které budou v ostrovním systému použity.



Vypracoval: **Bc. *Michal Straka***

Návrh ostrovního fotovoltaického systému

Název projektu

Komponenty:	ks		cena	celkem
1. Solární regulátor				
SOLAR BOOST 2000E, 25A, 12V	1	x	4900	4900
2. Měnič napětí				
Sunny Island 4248	1	x	48790	48790
3. Akumulátory				
WB-LYP60AHA LiFeYPO4 (3.2V/60Ah)	150	x	2088	313200
4. Fotovoltaické panely				
Solon Blue 220 Wp	10	x	7866	78660
5. Elektrocentrála				
POUZE LETNÍ PROVOZ	0	x	0	0
			Celkem	***445550*** **s DPH**

V Brně **Dne:** 13.4.2012

podpis

Obr. 6.10 Výstupní list.

7. NÁVRH OSTROVNÍHO FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU

V této kapitole bude proveden návrh tří konkrétních aplikací. Od velmi malého ostrovního systému, kde se budeme snažit minimalizovat investiční náklady a zajistit pouze základní potřeby pro život, přes malou ostrovní aplikaci využívanou na chatách až po domovní aplikaci, kde bude kladen velký důraz na komfort celého systému. Návrh bude proveden pomocí vytvořené OFVMS aplikace.

V kapitole 7.1 bude uveden podrobnější postup při návrhu fotovoltaického ostrovního systému. Následující dva systémy budou specifikovány a uveden výsledný návrh a finanční zhodnocení systému.

7.1 Zahradní domek

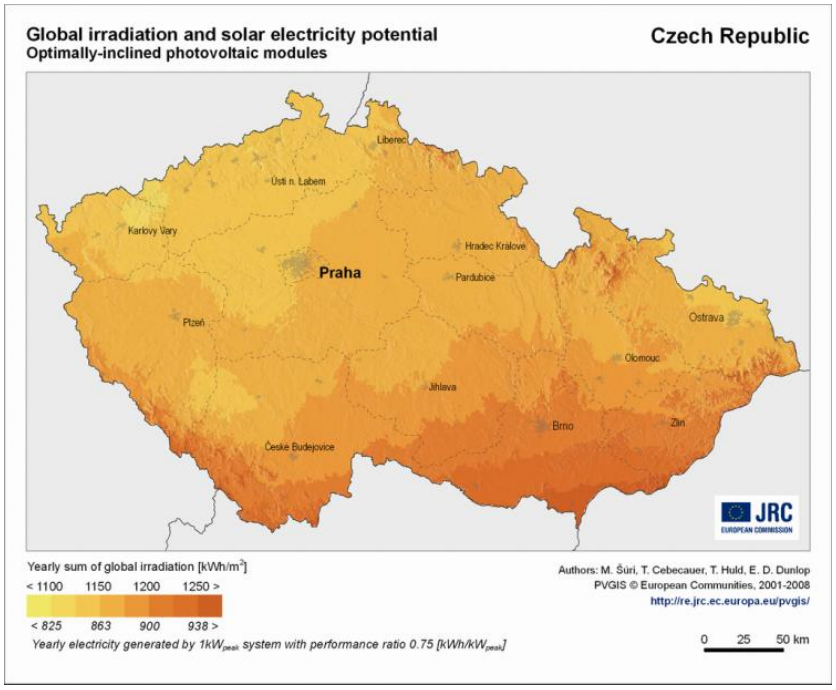
U tohoto ostrovního systému je kladen požadavek na minimální investičními náklady. Z tohoto důvodu bude využito jako systémové napětí 12/24 V DC. Přičemž systém má zajišťovat základní životní potřeby: dodávku pitné vody, osvětlení, uchovávání v chladu malé množství potravin a případně přebytek elektrické energie v nadprůměrně slunečných dnech bude zajišťovat dobíjení akumulátorů v ručním nářadí. Uživatel si vybral spotřebiče uvedené v tabulce 7 – 1. K čerpání vody z vrtu bylo specifikováno membránové čerpadlo o nižším průtoku, ale vyšší dopravní výšce 69 m se samonasávacím systémem do 3 m. K osvětlení dvou místností zahradní chatky bude použit světelný zdroj Osram dulux, jehož hlavní přednost je možnost využít integrovaného stmívajícího systému, díky němuž může uživatel snížit spotřebu elektrické energie o 60 %. Také bude využit chladící box užívaný především řidiči kamionů.

Tab. 7 – 1 Spotřebiče využité v ostrovním systému pro zahradní chatku. [26] [34] [35]

	Membránové čerpadlo SHURFLO 12/24 V Pro přerušovaný provoz, nastavitelný tlakový spínač 5,5 až 6,9 baru, průtok 3,6 až 6 l/min., dopravní výška 69 m, samonasávací (3m), možný chod na sucho.	*Cena* 4000 Kč
	Osram dulux intelligent solar 12 V DC. Provoz možný bez stmívače: snadným zapnutím a vypnutím se jas sníží na polovinu, přičemž se sníží spotřeba energie o 60%.	*Cena* 380 Kč
	Waeco CR 28 12/24V Chladící box o výkonu 55 W. Rozměry: délka 40 cm, šířka 33 cm a výška 49 cm. Objem 28 l. Chladí až o 20°C pod okolní teplotu.	*Cena* 3600 Kč

Chladící box může být napájen jak ze zdroje na 12 tak i 24 V. Membránové čerpadlo se vyrábí s obdobnými parametry taktéž pro obě napětí. Osram dodává světelné zdroje pouze na 12 V, ale například firma Phocos vyrábí kompaktní zářivky na 24 V paticovaná závitem E27. Tudíž je možné provést srovnání 12 a 24 V systémového napětí a vyhodnotit, které je vhodnější použít.

Zahradní chatka je umístěná v příměstské části Brna. Jak je patrné z obrázku 7.1 intenzita slunečního záření v okolí Brna je cca 1200 kWh/m^2 a v případě instalace elektrárny o výkonu 1 kWp, získáme při výkonovém číslu (ztráty atd.) 0,75 cca 900 kWh/kWp.

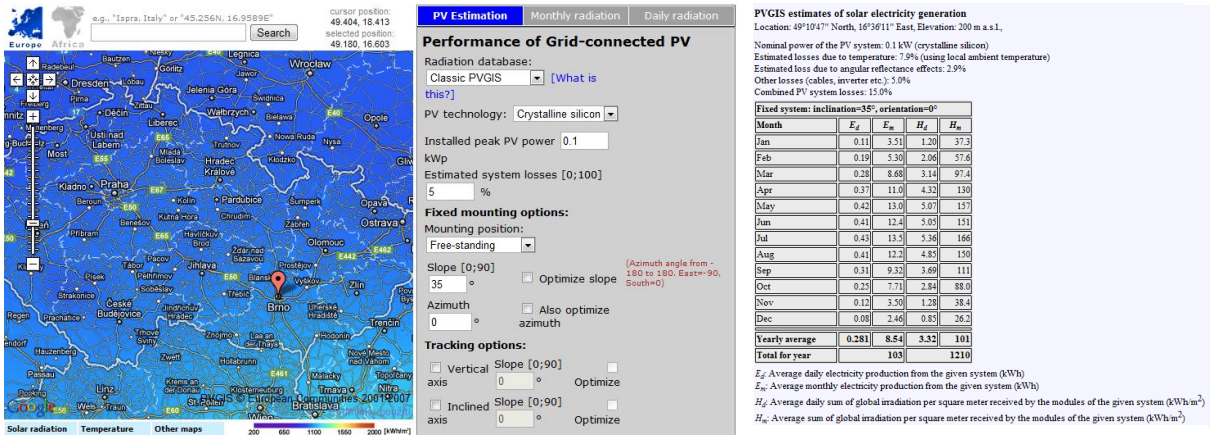


Obr. 7.1 Množství slunečního záření dopadající v ČR. [32]

Z důvodu užívání objektu uživatelem převážně v letních měsících bude fotovoltaická výrobna dimenzována na letní provoz (červen – srpen). V těchto měsících uživatel požaduje užívání chladícího zařízení. V měsících od května do září bude celý systém dimenzován tak, aby bezvadně zvládnul zbývající zařízení. Uživatel chce snížit pořizovací náklady na minimum, a proto volí dva dny se sníženou intenzitou. Přičemž je seznámen a akceptuje možné následky v případě většího počtu dní se sníženou intenzitou. Provedeme srovnání investiční ceny požadovaného systému a systému s vyšším počtem dní. Fotovoltaické panely budou umístěny na střeše zahradního domku. Jelikož je střecha plochá budou fotovoltaické panely umístěny na hliníkové konstrukci a tudíž budou mít ideální jižní směr. Z důvodu, že je ostrovní systém definován na letní provoz, budou panely instalovány se sklonem 35°.

Pomocí aplikace PVGIS určíme hodnoty potřebné ke správnému nadimenzování ostrovního fotovoltaického systému. Postup sestává z těchto kroků. Zadáme pozici, kde bude instalována fotovoltaická výrobna a nastavíme technologii fotovoltaických panelů. Z důvodu provozu výrobny především v letních měsících volíme polykrystalické panely. Poté nastavíme velikost FV výrobny. Zvolíme hodnotu 100 Wp (velikost můžeme volit libovolnou), abychom

mohli lehce přepočítat hodnotu na 1 Wp. Dále nastavíme ztráty systému (zde jsou zahrnuty ztráty vlivem znečištění panelů, ztráty v kabeláži, měniči atd.). Jelikož velkou část těchto ztrát uvažujeme v naší aplikaci, doporučujeme nastavit ztráty na 5 %. Následně zvolíme typ umístění panelů, sklon panelů a odklon od jižního směru, jak je patrné na obr. 7.2. Na obrázku 7.2 je taktéž možné vidět výsledný výstup hodnot, s kterými budeme dále pracovat.



Obr. 7.2 Zadávání parametrů a zobrazené výsledky v programu PVGIS. [31]

Výslednou hodnotu 1 Wp, kterou zadáváme do OFVMS získáme tak, že vybereme nejnižší denní hodnotu za měsíc (červen – srpen). Nejnižší hodnotou vyrobené energie je 410 Wh/den v srpnu. Jak je patrné z tabulky systém bude bezchybně fungovat i v květnu, kde hodnota nabývá taktéž 410 Wh. Je tedy patrné, že výsledná hodnota pro letní provoz v měsících od května do srpna je 4,1 Wh/den. Je velmi důležité uvědomit si, že se jedná o průměrné hodnoty vztažené k měsíci případně dnu.

Hloubku vybíjení zvolíme dle požadované životnosti akumulátorů nebo dle požadovaných investičních nákladů. Dále zvolíme minimální teplotu naměřenou v technické místnosti. Následuje výběr a porovnávání jednotlivých komponentů a možností systému.

V příloze A jsou uvedeny výsledky navrhovaného ostrovního fotovoltaického systému s jmenovitým systémovým napětím 12 V. Je zajímavé, že i u takto malých systémů vychází výhodněji využít dražší solární MPPT regulátor. V případě volby obyčejného solárního regulátoru potřebujeme dodat do akumulátorů denně 2,157 kWh při jmenovitém proudu solárního regulátoru 25 A. V případě využití MPPT solárního regulátoru s jmenovitým proudem 20 A pouze 1,808 kWh. Využití MPPT solárního regulátoru nám zapříčiní jak pokles potřebné kapacity akumulátorů, tak samozřejmě počet fotovoltaických panelů. Jak je patrné z tabulky 7 – 2 náklady na 12 V ostrovní systém jsou vyšší, než u systémového napětí na 24 V. Dalším nezanedbatelným prvkem je dimenzování průřezu pro použité čerpadlo, která má odběr 7 A. Vzdálenost membránového čerpadla od technické místnosti byla stanovena na 45 m. Při úbytku 0,5 % nám vyšel průřez, u 12 V systémového napětí, 25 mm^2. V případě 24 V systémového napětí se dostaneme průřez 10 mm^2, což je nezanedbatelný rozdíl v ceně kabelu.

Tab. 7 – 2 Jednotlivé varianty ostrovního FV systému pro zahradní chatku.

	12 V	24 V – 80% DoD	24 V – 50% DoD	24 V $LiFePO_4$ (200Ah)
Cena za komponenty [Kč]	57.992	47.470	61.914	73.878
Náklady na 1 kWh [Kč]	32.078	26.257	34.247	40.865
Náklady na akumulaci 1 kWh [Kč]	13.557	15.979	23.969	30.568
Počet akumulátorů (článků)	3	4	6	8
Počet FV panelů	4	2	2	2
Počet cyklů	700	700	1500	3000
Počet let	4,5	4,5	9	20

V příloze B je vložen výpočet ostrovního fotovoltaického systému se systémovým napětím 24 V, který nám vyšel s nejnižšími investičními náklady (47.470 Kč). Jak je patrné, využili jsme akumulátory Hoppecke. Tyto akumulátory v případě správného užívání mají životnosti 700 cyklů při hloubce vybíjení 80 %. Cyklování akumulátorů se odvíjí od počtu dní se sníženou intenzitou. Jelikož jsou v systému využity olověné akumulátory, které jsou náchylné na provoz, tak budeme uvažovat rezervu a počítat s denním cyklováním v měsících květen – září. V dalších měsících bude FV ostrovní systém provozován bez chladícího boxu (tudíž by měl cyklovat minimálně). Dostáváme tedy životnost 4,6 roku, z důvodu výše uvedených předpokladů uvažujeme životnost 4 roky. V případě 50 % DoD se dostáváme na 1500 cyklů, což odpovídá cca 9 rokům. Pro srovnání je v tabulce uvedeno využití akumulátorů $LiFePO_4$, kde při ceně 73.878 Kč můžeme využívat baterie s životností přes 20 let, což se rovná garantované životnosti FV panelů. Návrh tohoto systému je proveden v Příloze C. Záleží na investorovi, kterou variantu si zvolí, respektive která z variant je finančně rentabilní.

Dále jsme ověřili, že v případě nevyužívání chladícího boxu v měsících září – duben bude celková denní potřeba akumulované energie 264 Wh. Dosadíme-li do výpočtu nejnižší hodnotu v prosinci 0,8 Wh pro 1 Wp zjistíme, že systém dodává 352 Wh/den a tudíž je tato hodnota dostačující k provozu čerpadla i osvětlení.

7.2 Rodinná chata

Chata je situovaná v Olomouckém kraji na samotě, kde vybudování elektrické přípojky není možné. Jelikož je stavba umístěna u lesa, tak není možné využít energii větru nebo vody k zajištění elektrické energie, tudíž majitel uvažuje o alternativní variantě. Budeme srovnávat jediné dvě možné varianty: ostrovní fotovoltaický systém a elektrocentrála spojená s akumulací energie.

Fotovoltaický generátor bude umístěn na střeše chaty se sklonem střechy 45° a odklonem od ideálního jižního směru 5° západně. Zjištěná hodnota pro přepočet 1 Wp je opět zjištěna pomocí programu PVGIS. Ztráty systému jsou stanoveny na 5 %. Následně získáme výslednou hodnotu pro přepočet 3,7 Wh/den.

Investor požaduje bezproblémové využívání spotřebičů (osvětlení, čerpadlo, TV, lednice) od března do září ve víkendovém provozu. V období letních prázdnin investor vyžaduje bezvadný provoz spotřebičů (NB, XBOX, rychlovarná konvice, mikrovlnná trouba a ostatní

zařízení) po celý týden. Případné přebytky elektrické energie budou sloužit k dobíjení akumulátorových baterií v ručním nářadí, případně akumulátorů do RC modelů.

Návrh bude proveden opět pro dva dny se sníženou sluneční intenzitou, s čímž je investor srozuměn. Tím docílíme snížení nákladů na akumulaci energie, ale naopak dojde ke zvýšení proudu odebírajícího z akumulátorových baterií. Omezení na 2 dny ovlivňuje ostrovní systém především v měsíci, z kterého je vypočítána hodnota pro přepočet 1 Wp. Tímto měsícem je červen. Samozřejmě v případě delšího výkyvu počasí je třeba omezit spotřebu jinými spotřebiči, což platí pro všechny systémy závislé na klimatických podmínkách. Po zadání spotřebičů nám vychází nejvhodněji systémové napětí 24 V. V případě optimalizace nám vychází, že nejvhodnější je využití $LiFePO_4$ baterií. Cenově podobně vychází i olověné akumulátory, které mají ovšem o více než polovinu nižší životnost a další problémy spojené s provozem popsané v kapitole 4.3. U tohoto systému uvažujeme dvoudenní cyklování v měsících březen až říjen, z čehož nám vychází životnost přes 25 let, za předpokladu, že nebudou baterie podvybíjeny nebo přebíjeny. Pro finanční zhodnocení budeme uvažovat s životností akumulátorů 20 let.

Navržený systém je uveden v Příloze D. Jelikož využíváme $LiFePO_4$ baterie musíme využít solární regulátor, který umí tyto akumulátory dobíjet, tudíž použijeme WL/Power. Tento regulátor je sice stavěný na vyšší jmenovitý proud, ale vhodnější regulátor nemáme v databázi. Totéž platí o kapacitě akumulátorů, která se nevleze do námi stanovené tolerance. Cena za komponenty je 167.528 Kč, náklady na 1 kWh jsou 51.612 Kč a náklady na akumulaci 1 kWh jsou 29.657 Kč.

V příloze E je vložena varianta pro měsíce od března do října. Pro tuto variantu byla vybrána nejnižší hodnota vyrobené energie a stanovena hodnota 1 Wp na 2,5 Wh/den. Jak je patrné z přílohy, systém plně vyhovuje stanoveným požadavkům. Je zřejmé, že nám stačí vyrobit 1,995 kWh energie denně, což je o 1,251 kWh méně než v měsících letních prázdnin při využívání požadovaných spotřebičů.

Jak již bylo zmíněno, jedinou možnou alternativou je využití elektrocentrály. V našem příkladu jsme zvolili Woodster GP 30 s investičními náklady 5.870 Kč a výkonem 2800 W. Výhodou při použití této alternativy je možnost dodávky elektrické energie i v případě delšího prostoje slunečného počasí. Nevýhody jsou zřejmé: obsluha každé dva dny, neekologická výroba elektrické energie a pravděpodobně velké náklady na provoz, což si ověříme finančním zhodnocením.

7.3 Rodinný dům

Rodinný dům je situován v Jihomoravském kraji. Investor zvažuje vybudování ostrovního fotovoltaického systému z důvodu nepřetržitosti dodávky, výroby elektrické energie z obnovitelného energetického zdroje a nezávislost na distribuční společnosti. Jelikož má rodinný dům atypickou rovnou střechu se sklonem 20°, bude na ní vybudovaná konstrukce, díky níž dostaneme stejně ideální podmínky jako v kapitole 7.1. Z tohoto důvodu můžeme využít, pro stanovení přepočtu jedné Wh na 1 Wp, hodnoty z obrázku 7.3. Z tabulky

je patrné, že nejnižší hodnota pro měsíce se zvýšenou intenzitou březen – září je 2,8 Wh/den. Z ostatních pěti měsíců, kde budeme uvažovat provoz druhého nezávislého zdroje, provedeme průměr, který nám vyšel 1,5 Wh a zadáme ho do aplikace. Je patrné, že v prosinci je tato hodnota výrazně nižší (0,08 Wh). Proto se v tomto měsíci předpokládá častější využívání elektrocentrály. Naopak například v říjnu se dá předpokládat méně častý provoz elektrocentrály (1 – 2x v tomto měsíci). Investor požaduje chod spotřebičů uvedených v Příloze F, kde je uveden i výsledný výpočet systému.

Jelikož se jedná o celoroční provoz, je nezbytně nutné, aby byl stanoven počet dní se sníženou intenzitou minimálně na 3 dny. Investor zvolil 5 dní se sníženou intenzitou, což je považováno za ideální hodnotu a to jak především z důvodu nižšího cyklování akumulátorových baterií, tak z důvodu dobíjení akumulátorových baterií v zimních měsících z elektrocentrály.

Celý systém, stejně jako celá domácnost bude ovládána řídící jednotkou Foxtrot, což nám zajišťuje optimální využití celého systému. A to především automatické startování elektrocentrály, případně využívání přebytečné energie v letních měsících k dobíjení hybridního elektromobilu.

Z výsledků je patrné, že v případě dodání 25 % elektrické energie z elektrocentrály v zimních měsících bude potřeba 14 FV panelů Solon Blue 220 Wp (zapojení bude ve 2 sériových větví po 7 panelech). Dále je zřejmé, že budeme potřebovat 30 LYP400AHA LiFeYPO4 článků, kde bude spojeno 15 článků v sérii, abychom dosáhli systémového napětí 48 V, přičemž budou využity dvě větve k dosažení potřebné kapacity. Celková cena za akumulaci energie je 411.840 Kč. Přičemž do výsledné ceny nejsou započítány výkonové balancéry a konektorové propojky, jejichž cena odpovídá cca 5.000 Kč. Další pořizovací investicí která není započítána, je výkonový dobíječ, který dobíjí akumulátory z elektrocentrály s cenou 7.385 Kč.

Z výpočtu je patrné, že energie potřebná ke krytí ztrát je 624 Wh (což odpovídá 10 %) potřebné energie vyrobené v jednom dnu. Výsledná suma potřebné energie je 6,106 kWh/den (která již zahrnuje účinnost jednotlivých komponentů), výsledný výkon fotovoltaického generátoru 3,053 kWp a výsledná potřebná kapacita 795 Ah.

V letních měsících se zvýšenou intenzitou pro dodání stejné energie do akumulátorových baterií by nám dle výpočtu stačilo 10 FV panelů (2128 Wp) při hodnotě 2,8 Wh/den. Jak je patrné z obr. 7.3, hodnota pro červenec je 4,3 Wh/den. Což znamená, že průměrně v tomto měsíci vyrobíme za jeden den 11324 Wh elektrické energie, což je téměř o polovinu více, než jaké je navržená spotřeba celého RD za jeden den. Právě tyto přebytky budou využity k dobíjení baterií v hybridním elektromobilu. Jelikož tyto přebytky nelze přesně predikovat, nebudeme tyto přebytky počítat ve finančním zhodnocení.

Náklady na 1 kWh vyrobené energie jsou 99.424 Kč a náklady na akumulaci 1 kWh jsou 67.445 Kč. Celkové investiční náklady se započtením příslušenství k $LiFePO_4$ bateriím a dobíječe jsou 619.496 Kč.

Při vzdálenosti 7 m mezi FV generátorem a technické místnosti je třeba použít kabeláž o průřezu 6 mm^2. Taktéž byl navržen hybridní měnič Sunny Island 4248 o výkonu 4200 W a špičkovém výkonu 11400 W, který má relativně malou rezervu pro následné rozšíření sortimentu spotřebičů. V systému je využit MPPT solární regulátor Morningstar Tristar 60 A, který dokáže komunikovat s řídící jednotkou Foxtrot. Investor také požaduje 3f elektrocentrálu s automatickým startem. Využije Heron EGM 65 AVR-3 o výkonu 6500 W a spotřebě 0,45 l/kWh. Jelikož v jednotlivých měsících (říjen – únor) bude rozložení potřeby výroby elektrické energie z elektrocentrály rozdílné, stanovíme mírné zjednodušení a budeme uvažovat, že je třeba vyrobit 25 % elektrické energie pomocí elektrocentrály v těchto zimních měsících. Tudíž je nutné dodat z elektrocentrály v těchto pěti měsících 228,98 kWh elektrické energie, což odpovídá při dané spotřebě 103 l benzínu za rok.

8. FINANČNÍ VYHODNOCENÍ

Každý podnikatelský záměr a projekt musí mít určité ekonomické ukazatele, které podporují a dokládají realizaci projektu. Budoucí investor chce vědět a znát, zda se mu jeho vložené prostředky zhodnotí či nikoliv. Pro výběr varianty investičního záměru jsou nejvhodnějšími finanční kritéria hodnocení investičních projektů, která umožní zohlednit časovou hodnotu peněz i riziko projektu. Využívat budeme výhradně dynamické metody, které respektují vliv času. [38]

8.1 Metody pro určení ziskovosti projektu

Jedná se o porovnání vložených finančních zdrojů s očekávanými přínosy pro firmu. Tomuto odpovídají metody, které vyházejí z peněžního toku. Jsou to metoda čisté současné hodnoty, metoda vnitřního výnosového procenta, metoda doby návratnosti a metoda indexu rentability. Předpokladem pro použití těchto metod je plán peněžních toků projektu. Na porovnání různorodých projektů, u kterých není generován čistý zisk, využijeme nákladovou metodu hodnocení investic – metoda diskontovaných nákladů. [38]

8.1.1 Metoda čisté současné hodnoty (Net Present Value)

Představuje rozdíl mezi diskontovanými peněžními příjmy z investičního projektu a kapitálovými výdaji, nutnými pro realizaci projektu. Je to dodatečný výnos, který se získá realizací projektu nad požadovanou míru výnosnosti. Pokud požadujeme výnos např. 15 %, čistá současná hodnota je výnos, který získáme navíc nad požadovanou výnosnost. Přijatelné jsou pouze projekty, které zabezpečí minimální požadovaný výnos, tj. NPV ≥0. [38]

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^{n} \frac{P_t}{(1+i)^t} - K_i \qquad (8.1)$$

kde:

NPV - čistá současná hodnota v Kč

CF_t - plán cash-flow z investičního projektu v jednotlivých letech v Kč

P_t - příjem z investice v jednotlivých letech životnosti v Kč

K_i - investiční náklady v Kč

n - doba životnosti investičního projektu

t - jednotlivé roky životnosti investičního projektu

i - alternativní náklady kapitálu (úroková míra)

8.1.2 Metoda indexu rentability (Profitability Index)

Je doplňkovým ukazatelem čisté současné hodnoty. Je poměrovým ukazatelem efektivnosti. Vypočítává se jako podíl diskontovaných plánovaných peněžních příjmů z investičního projektu a kapitálových výdajů na něj vynaložených. Projekt je přijatelný,

jestliže jeho hodnota je vyšší než 1. Vybírá se projekt s nejvyšším indexem rentability, čím zabezpečí nejvyšší zhodnocení vloženého kapitálu. [38]

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^{n} \frac{P_t}{(1+i)^t}}{K_i} \tag{8.2}$$

8.1.3 Metoda vnitřního výnosového procenta (Internal Rate of Return)

Označuje se také jako vnitřní míra výnosnosti projektu. Představuje skutečnou míru výnosnosti projektu, která se dosáhne z plánovaných příjmů a kapitálových výdajů. Vychází z výpočtu čisté současné hodnoty projektu a představuje jeho výnosovou míru, při níž se diskontované příjmy rovnají kapitálovým výdajům. Je to tedy taková výnosová míra projektu, při níž se čistá současná hodnota rovná nule. [38]

Přijatelné jsou projekty, u nich se předpokládá dosažení vyšší míry výnosnosti, než je požadovaná, tj. vnitřní výnosové procento je vyšší než požadovaná míra výnosnosti. Výhodnější je ta varianta investování, u které se dosáhne nejvyššího vnitřního výnosového procenta. [38]

$$\sum_{t=1}^{n} \frac{P_t}{(1+i)^t} - K_i = 0 \tag{8.3}$$

$$IRR = i_n + \frac{NPV_n}{NPV_n - NPV_v} \cdot (i_v - i_n) \tag{8.4}$$

kde:

IRR - vnitřní výnosové procento

i_v - vyšší hodnota požadované výnosnosti

i_n - nižší hodnota požadované výnosnosti

NPV_v - čistá současná hodnota projektu při vyšší diskontní míře (záporná)

NPV_n - čistá současná hodnota projektu při nižší diskontní míře (kladná)

8.1.4 Metoda doby návratnosti projektu (Payback Period)

Zde se vypočítá, za jak dlouho (za kolik let) se nám investovaný kapitál splatí peněžními příjmy z investice. Rozhodující je zde doba návratnosti vložených prostředků. Doba návratnosti se určuje pomocí kumulativního součtu předpokládaných diskontovaných příjmů v jednotlivých obdobích. Rok, ve kterém se diskontované peněžní příjmy budou rovnat kapitálovým výdajům, představuje počet let návratnosti investice. [38]

$$DN = \frac{K_i}{\sum_{t=1}^{DN} \frac{P_t}{(1+i)^t}} \tag{8.5}$$

kde:

P_t - příjem z investice v jednotlivých letech životnosti v Kč

K_i - investiční náklady v Kč

DN - doba návratnosti investičního projektu

t - jednotlivé roky životnosti investičního projektu

i - požadovaná výnosnost investičního projektu ve tvaru indexu

Pro vyhodnocení našeho projektu fotovoltaické ostrovní (hybridní) elektrárny na střeše RD využijeme finanční ukazatele čistá současná hodnota, vnitřní výnosové procento a dobu návratnosti. [38]

8.1.5 Metoda diskontovaných nákladů

U metody diskontovaných nákladů se porovnávají průměrné roční náklady srovnatelných investičních variant projektů nebo srovnatelné projekty. Vypočítává se však souhrn všech nákladů projektu za dobu životnosti a zavádí faktor času. Výhodnější je ta varianta nebo ten projekt, který má nižší diskontované náklady. Náklady vyskytující se v jednotlivých letech provozu nelze sčítat v nominálních hodnotách, ale musí být upraveny o vliv času, tedy musí být diskontovány. Aktualizace se provádí k době uvedení investice (její varianty) do provozu.

Výpočet diskontovaných nákladů vyjadřuje vzorec

$$DC = K_i + N_p{}^A \tag{8.5}$$

kde:

DC - diskontované náklady

K_i - investiční náklady v Kč

$N_p{}^A$ - součet diskontovaných ročních provozních nákladů v Kč

Protože metoda diskontovaných nákladů vyjadřuje souhrn nákladů za dobu životnosti, nelze srovnávat hodnoty projektů s různou dobou životnosti. Projekt s delší dobou životnosti má přirozeně vždy souhrn nákladů vyšší než projekt s kratší životností. V případě využití této metody pro srovnání variant s různou dobou životnosti, je nutné obě varianty převést na společnou délku životnosti. Kratší životnost se musí „obnovit“ pořízením dalšího investičního majetku na konci životnosti, jehož diskontovaná hodnota se připočte k investičním nákladům varianty s kratší životností. [39]

8.2 Vyhodnocení jednotlivých investičních projektů

8.2.1 Zahradní domek

Finanční vyhodnocení bude provedeno pro jednotlivé varianty. Jako alternativu k ostrovnímu systému budeme uvažovat vybudování elektrické přípojky a dodávku elektrické energie od firmy E.ON. Budeme vycházet z faktu, že cena za vybudování elektrické přípojky (HDS) je stanovena na 45.000 Kč. Dále je vybrán jedno tarifní produkt D01d s cenou spotřeby 5.594,77 Kč/MWh a stálé platby 24 Kč/měsíc. Jelikož neumíme přesně predikovat vývoj cen za elektrickou energii, provedeme zjednodušení a budeme ji uvažovat konstantní. Denní spotřeba zahradní chatky v měsících květen – srpen je 1,54 kWh. V ostatních měsících se neuvažuje chod chladícího boxu a tudíž je spotřeba 264 Wh/den. Což nám přináší roční výnos 1.676,4 Kč (oproti nákupu elektrické energie od společnosti E.ON).

Výpočet jednotlivých variant je uveden v Příloze G.

Tab. 8 – 1 Finanční vyhodnocení jednotlivých variant pro zahradní domek

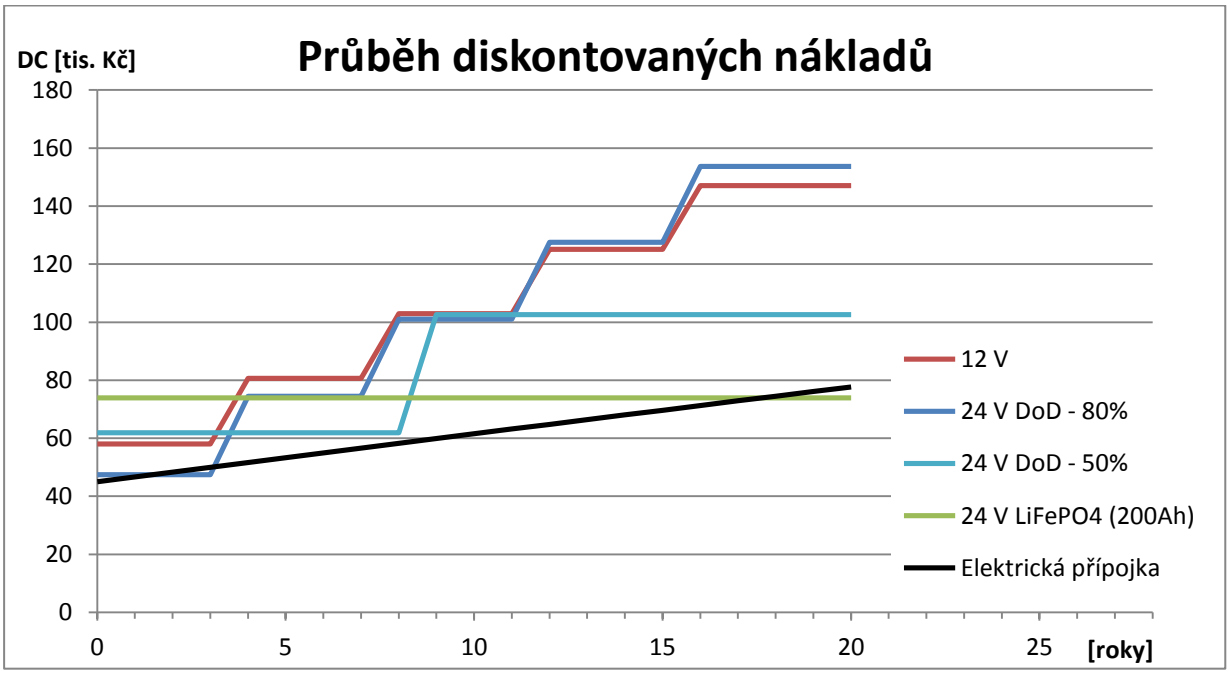
Popis	Jednotky	12 V	24 V DoD - 80%	24 V DoD - 50%	24 V $LiFePO_4$ (200Ah)
Náklady na ostrovní systém	[Kč]	57.992	47.470	61.914	73.878
Životnost systému	[roky]	4	4	9	20
Náklady na elektrickou přípojku	[Kč]	45.000	45.000	45.000	45.000
Náklady na akumulátory	[Kč]	24.510	28.888	55.296	-
Úroková míra - i	[%]	0,25	0,25	0,25	0,25
Očekávaný zisk z investice	[Kč/rok]	1.676,4	1.676,4	1.676,4	1.676,4
Čistá současná hodnota - NPV	[Kč]	-6.328	4.194	-4.712	3.786
Vnitřní výnosové procento - IRR	[%]	-9	7	-3	1
Doba návratnosti - DN	[roky]	7,7	1,5	10,1	17,2
Diskontované náklady – DC (20 let)	[Kč]	147.080	153.539	102.644	73.878

V tabulce 8 – 1 je finanční vyhodnocení pro jednotlivé varianty. Úrokovou míru jsme stanovili na 0,25 %, přičemž jsme tuto hodnotu získali ze stránek České národní banky. Výsledky lze interpretovat v několika rovinách. Ukazatele NPV a IRR jsou vztaženy k životnosti systému a porovnáváme je s vybudováním elektrické přípojky. Je důležité si uvědomit, že záleží plně na investorovi, na jak dlouhou dobu požaduje životnost systému. V případě dvacetiletého provozu dochází k optimalizaci provozu, jelikož životnost FV panelů je odhadována na stejnou dobu.

Provedeme dvě finanční vyhodnocení. Nejdříve pro případ, že vztahujeme vyhodnocení rentability k délce života akumulátorů. V tomto případě je patrné, že nejlevnější varianta je 24 V s životností sytému 4 roky. Z čehož velký podíl na rentabilitě systému je nevybudování elektrické přípojky (ušetřené náklady) a vlastní zisk z investice tvoří pouze malou část. Každopádně tento systém je rentabilní pouze v případě, že by uživatel uvažoval užívání objektu jen na dobu 4 let, jak jsme si již řekli. Pro tento systém je stanovena návratnost na 1,5 roku a hodnota čisté současné hodnoty je 4.194 Kč. Z finančního porovnání je zřejmé, že 12 V systém je dražší jak zmiňovaný 24 V systém. U 12 V systému je výhodnější vybudovat elektrickou přípojku i v případě pouze čtyřletého provozu. U 24 V systému při hloubce vybíjení 50 % a tudíž životností 9 let nám vyšli finanční ukazatele záporně, z čehož vyplývá, že je výhodnější vybudovat elektrickou přípojku. U posledního systému, který využívá $LiFePO_4$ akumulátory nám vyšla doba návratnosti 17,2 let. V případě, že bude

chtít uživatel provozovat stávající systém 20 let je pro něj výhodnější využít ostrovní fotovoltaický systém. Hodnota čisté současné hodnoty vyšla v tomto případě na 3.786 Kč.

Druhou alternativou je porovnání pomocí diskontovaných nákladů. Tato metoda nám umožňuje porovnávat různorodé projekty, které musíme vztáhnout k určitému časovému období (zvolili jsme 20 let). Hodnoty diskontovaných nákladů jsou taktéž uvedeny v tab. 8 – 1. Jak lze vidět v Příloze G diskontované náklady na vybudování elektrické přípojky nám vyšly 77.664 Kč. Diskontované náklady na vybudování ostrovního systému vypočítáme z investičních nákladů na FV ostrovní systém a investičních nákladů. Pro zjednodušení budeme uvažovat náklady na výměnu za nové akumulátorové baterie konstantní v čase (pravděpodobně se bude cena technologií snižovat). V případě porovnání diskontovaných nákladů v časovém horizontu 20 let vyšla nejvýhodněji varianta s $LiFePO_4$ akumulátory, což je patrné na obr. 8.1.



Obr. 8.1 Průběh diskontovaných nákladů pro jednotlivé varianty FV ostrovního systému.

Za výhody pro vybudování ostrovního systému lze považovat okamžitou možnost realizace (není nutné čekat na schválení a vybudování elektrické přípojky). Ovšem v případě vybudování elektrické přípojky je jasné, že investor získává větší variabilitu možností využívání elektrické energie.

8.2.2 Rodinná chata

Zvolenou variantu budeme porovnávat s rozdílným generátorem elektrické energie. Místo použitých fotovoltaických panelů bude zvolena elektrocentrála. Zbytek systému zůstává nezměněn. Pro zjednodušení budeme uvažovat, že použitý regulátor dobíjení baterií bude mít stejné investiční náklady a účinnost jako solární regulátor.

Jak již bylo zmíněno v období letních prázdnin musíme denně dodat 3,246 kWh elektrické energie a v ostatních měsících 1,995 kWh/den. Spotřeba elektrocentrály je

0,54 l/kWh. Z těchto údajů je patrné, že na roční provoz je nutné zajistit cca 267 l benzínu. Cenu benzínu jsme stanovili na 39 Kč a neuvažujeme nárůst cen v čase.

Pro srovnání jednotlivých systémů využijeme opět diskontovaných nákladů. Výpočet je proveden obdobně jako v příloze H. Jelikož je životnost akumulátorů stanovena na 20 let, budeme k této hodnotě vztahovat i výpočet. Přičemž diskontní náklady na systém s elektrocentrálou vyšly 344.826 Kč a diskontní náklady na ostrovní fotovoltaický systém jsou 167.528 Kč. Z výpočtu je patrné, že ostrovní fotovoltaický systém má o polovinu nižší diskontní náklady a je tudíž rentabilnější, což se dalo předpokládat (při současné ceně benzínu a účinnosti elektrocentrál).

8.2.3 Rodinný dům

U rodinného domu pouze využíváme optimalizace návrhu a volíme co nejnižší náklady na požadovaný systém. Výsledek je uveden v Příloze F.

Náklady na 1 kWh vyrobené energie jsou 99.424 Kč a náklady na akumulaci 1 kWh jsou 67.445 Kč. Celkové investiční náklady se započtením příslušenství k $LiFePO_4$ bateriím a dobíječe jsou 619.496 Kč. Dále k této částce musíme připočítat roční náklady na 103 l benzínu, čímž zajistíme 25 % energie z elektrocentrály v zimním období (228,98 kWh). Cena benzínu je stanovena na 39 Kč za litr, čemuž odpovídají roční náklady 4.017 Kč. Roční náklady na provoz v případě vybudování elektrické přípojky jsou 12.586 Kč. Diskontované náklady na ostrovní fotovoltaický systém jsou 716.729 Kč a v případě vybudování elektrické přípojky 349.655 Kč (výpočet je uveden v příloze I). Tyto výsledky jsme očekávali. Jednak jsou použité technologie, především zajištující akumulaci energie, nákladné a taktéž byl při návrhu kladen velký důraz na komfort uživatele.

9. ZÁVĚR

V diplomové práci jsme se věnovali problematice návrhu ostrovního (hybridního) fotovoltaického systému. V průběhu zpracovávání diplomové práce jsme zjistili, že fotovoltaické ostrovní systémy jsou relativně mladý rozvíjející se obor. Diplomová práce je rozdělena do tří obsáhlejších celků: teoretické části, sestavení OFVMS aplikace a návrh tří variant rozlišných ostrovních systémů.

V teoretické části jsme se zaměřili na rozdělení ostrovních FV elektráren podle výkonového potenciálu. Další část je podrobně věnována jednotlivým komponentům využívaných v ostrovních fotovoltaických systémech: fotovotlaické panely, solární regulátory, akumulátory, měniče napětí, spotřebiče a podpůrné prostředky. U fotovoltaických panelů jsme zjistili, díky množství hodnot získaných z praxe, že v případě porovnávání jednotlivých technologií jsou nejlépe využitelné polykrystalické panely, které v klimatických podmínkách ČR dokáží dodat nejvíce elektrické energie s nejvýhodnějším distribučním rozložením v průběhu roku. Dále díky OFVMS aplikaci jsme zjistili, že i u velmi malých FV systémů je vhodnější využít MPPT solární regulátor oproti obyčejnému a to z několika důvodů. Díky větší účinnosti dosáhneme nižší potřeby akumulované elektrické energie a tudíž bude mít investor nižší náklady na akumulaci. Také většina novějších MPPT solárních regulátorů zajišťuje monitoring celého systému. U akumulátorů je patrný velký vzestup $LiFePO_4$ článků, které v nejbližší době zaplní místo v akumulaci elektrické energie. Tyto články se v současnosti využívají ve velkém množství v automobilovém průmyslu a mají vynikající parametry v porovnání s olověnými akumulátory. Z těchto důvodů očekáváme postupné zlevnění této technologie a plné nahrazení stávajících olověných akumulátorů. V další podkapitole jsme se věnovali měničům napětí, u kterých je třeba dbát zvýšené pozornosti, jelikož měniče napětí využívané v malých ostrovních systémech nejsou primárně určeny k provozu v tomto systému a tudíž je nutné dávat si pozor při výběru a užívání takového měniče napětí. Samostatnou kapitolou je správný výběr spotřebičů využívaných v ostrovním systému. Je třeba využívat spotřebiče s co nejvyšší účinností. U spotřebičů na stejnosměrné napětí je velmi omezený výběr a také většina spotřebičů pracuje se jmenovitým napětím 12 V. Využití systémového napětí 12 V má velmi omezené možnosti především z důvodu dimenzováni průřezu kabelů využívaných v systému.

V následující teoretické části jsme popsali dimenzovaní ostrovních FV systémů, kde je mimo jiné zmíněn problém s měniči napětí a také základní předpoklady, které je nutné znát pro správné nadimenzování ostrovního fotovoltaického systému. Poslední teoretickou částí je kapitola, která popisuje metody finančního vyhodnocení.

Druhý obsáhlejší celek je realizace aplikace OFVMS, která slouží pro návrh ostrovních fotovoltaických elektráren. V kapitole 6 je popsán princip mechanizmu výpočtů a samotné zadávání komponentů v aplikaci OFVMS.

V posledních dvou kapitolách jsme provedli návrh tří rozdílných variant a jejich finanční vyhodnocení. U zahradního domku jsme modelovali situaci, kdy investor využívá elektrickou

energii k zajištění základních životních potřeb (osvětlení, pitná voda a chlazení v letních měsících) při využití minimálních investičních nákladů. Proto jsme se v tomto případě rozhodli využít spotřebiče na 12 respektive 24 V. Provedli jsme srovnání čtyř variant s různou dobou životnosti. Jako další alternativu jsme uvažovali vybudování elektrické přípojky. U jednotlivých variant je napsáno, jestli je výhodnější vybudovat ostrovní systém nebo elektrickou přípojku. Z výsledků vyplývá, že ostrovní fotovoltaický systém může být ekonomicky výhodnější, než vybudování elektrické přípojky, což je dáno především investičními náklady srovnatelnými s investičními náklady na vybudování ostrovního fotovoltaického systému a také specificky nízkou spotřebou elektrické energie jednotlivých zařízení. I přesto jsou dosažené výsledky velmi zajímavé, jelikož jsme neočekávali, že by diskontované náklady na ostrovní fotovoltaický systém mohli být nižší než vybudování elektrické přípojky, což se týká dvou variant (olověné akumulátory se systémovým napětím 24 V a životností 4 roky s investiční cenou 47.470 Kč a $LiFePO_4$ články se systémovým napětím 24 V a životností 20 let s investiční cenou 73.878 Kč).

U druhého projektu (rodinná chata) není možné počítat s vybudováním elektrické přípojky ani jiného energetického zdroje (vodní nebo větrné elektrárny). Z tohoto důvodu nám zbyla jako jediná alternativa provoz elektrocentrály. U této varianty nám vyšly diskontované náklady o polovinu vyšší, než v případě ostrovního fotovoltaického systému.

Poslední variantou projektu je návrh ostrovního fotovoltaického systému pro rodinný dům. U tohoto systému jsme chtěli demonstrovat téměř bezobslužný a velmi komfortní provoz, který je nezávislý na provozu a funkčnosti distribuční soustavy. Investiční náklady na tento fotovoltaický ostrovní systém jsou 619.496 Kč.

Jak je patrné z jednotlivých variant, ostrovní fotovoltaické systémy mohou ve specifických případech již nyní konkurovat vybudování elektrické přípojky. V případě vybudování elektrické přípojky získáváme přidanou hodnotu v možnosti využívat libovolné množství elektrické energie kdykoliv v průběhu dne. Výhoda ostrovních systémů spočívá v možnostech realizovat celý systém během několika dnů a získání nezávislosti na distribuční síti.

Při předpokladu snižování cen za komponenty v ostrovním fotovoltaickém systému lze do budoucna počítat s využíváním hybridních měničů napětí, které jsou popsány v kapitole 4.4.1. Tyto měniče nám umožní snížit počet akumulátorů a budou zajišťovat ideální nabíjení akumulátorových baterií. Dále nebude nutnost využívat elektrocentrálu, systém bude velice komfortní a bude zajišťovat funkci UPS. V případě snížení spotřeby elektrické energie a vhodném nadimenzování systému mohou tyto systémy v brzké době alespoň částečně konkurovat distribučním společnostem, jelikož v poslední době je zvýšený zájem o soběstačnost elektrické energie a výroby elektrické energie z ekologicky čistých zdrojů.

U všech ostrovních systémů je kladen velký důraz na monitoring systému a na správné využívání elektrické energie v průběhu dne, měsíce, roku. Proto by dalším bodem na vylepšení OFVMS aplikace a fotovoltaických ostrovních systémů mohlo být zahrnutí alespoň

částečné predikce počasí a tím provést zoptimalizování odběru elektrické energie z akumulátorů elektrické energie.

POUŽITÁ LITERATURA

[1] MIŠÁK, S; PROKOP, L. *Ostrovní napájecí systémy využívající OZE.* Elektro. 2011, 8-9, s. 4.

[2] STRAKA, M. *Typový projekt elektroinstalace pro rodinný dům využívající fotovoltaický systém.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010, 80 s.

[3] HNILICA, P. *Solární moduly* [online]. 2011 [cit. 2012-04-05]. Dostupné z: http://www.solarnimoduly.cz

[4] HNILICA, P. *Měniče napětí* [online]. 2011 [cit. 2012-04-05]. Dostupné z: http://www.menice-napeti.cz

[5] MUNTINGER, K, BERANOVSKÝ, J, TOMEŠ, M. *Fotovoltaika : elektřina ze slunce.* Brno : ERA, 2008. 16 s. ISBN 978-80-7366-133-5.

[6] Ostrovní systémy: (stand alone, off-grid). *Solarenvi* [online]. 2011 [cit. 2012-04-05]. Dostupné z: http://www.solarenvi.cz/slunecni-elektrarny/typy-instalaci/off-grid

[7] Solární nabíječka CSB 1016: kde není elektřina, pomůže slunce. LAVIČKA, O. *Mobil.cz* [online]. Mafra, 1999-2012 [cit. 2012-04-05]. Dostupné z: http://mobil.idnes.cz/solarni-nabijecka-csb-1016-kde-neni-elektrina-pomuze-slunce-pex-/telefony.aspx?c= A060419_5341523_pda

[8] Product center. In: *Bright solar* [online]. 2011 [cit. 2012-04-05]. Dostupné z: http://brightsolar-power.com/index.php/product/view/127.html

[9] Referenční list FV. In: Silektro [online]. 2012 [cit. 2012-04-05]. Dostupné z: http://www.zdroje-energie.cz/index.php?Title=Referen%C4%8Dn%C3%AD%20list%20FV%20&

[10] Morningstar Tristar 60 MPPT Solar, Wind, Hydro Charge Controller. *Sunestore.co.uk* [online]. 2010 [cit. 2012-04-05]. Dostupné z: http://www.sunstore.co.uk/buy/morningstar-tristar-60-mppt-solar-wind-hydro-charge-controller_117702663.html

[11] A-si Myths, the Truth... In: *Solarvoltaic* [online]. 2009 [cit. 2012-04-05]. Dostupné z: http://www.solarvoltaic.com/SolarFact/A-si%20Myths,%20the%20Truth%203.pdf

[12] Amorfní křemík: Technologie, která neprávem stojí opomenutá v koutě. *Maxisun* [online]. 2009 [cit. 2012-04-05]. Dostupné z: http://www.maxisun.cz/clanky/amorfni-kremik-technologie-ktera-nepravem-stoji-opomenuta-v-koute

[13] Amorfní solární panel Omnitron. In: *Nejceny.cz* [online]. 2004-2012 [cit. 2012-04-05]. Dostupné z: http://www.nej-ceny.cz/160524/amorfni-solarni-panel-omnitron-f-32-12.html

[14] Products. In: *ZGcells* [online]. 2011 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: http://www.zg-cells.com/solar-modules/752590.html

[15] CENEK, M., J. JINDRA, M. JON, J. KAZELLE, J. KOZUMPLÍK a J. VRBA. *Akumulátory*: *od principu k praxi*. Praha: FCC PUBLIC, 2003. ISBN 80-86534-03-0.

[16] MARCONI. Skoro vše o akumulátorech a nabíjení: aneb letem světem startovacích olověných akumulátorů. 20. prosince 2008, s. 1-61. Dostupné z: http://www.motola.cz/UserFiles/Diskuzni_clanky/akumulatory.pdf

[17] Návod k obsluze - Lithiové články a baterie $LiFePO_4$, s. 1-3. Dostupné z: http://www.i4wifi.cz/img.asp?attid=248576

[18] WL/Power: WB-LYP100AHA LiFeYPO4. *I4wifi* [online]. 2012 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: http://www.i4wifi.cz/wb-lyp100aha-lifeypo4-3-2v-100ah-_d1580.html

[19] Electric Bicycle Battery. *Alibaba.com* [online]. 1999-2010 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: http://www.alibaba.com/product-gs/355622569/LiFePO4_Battery_Pack_Customize_Electric_bike.html

[20] *Datasheet - 6FM200D-X 12V 187Ah(10hr)*. China, 2009, 2 s. Dostupné z: http://vision-batt.cz/specifikace/6fm200d-x.pdf

[21] Měnič napětí 12V,24V/220V 1500W. *GSM-GPS-CB* [online]. 1999, 2012 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: http://www.vysilacky-navigace.cz/menic-12V-24V-1500W-produkt-543.html

[22] Sine Wave Inverter-Chargers. *Studer* [online]. 2010 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: http://www.studer-inno.com/?cat=sine_wave_inverter-chargers

[23] BlueSolar Charge Controllers. *Victron energy* [online]. 2012 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: http://www.victronenergy.cz/solar/solar-charge-controllers

[24] Hybridní fotovoltaika? To je nezávislost, úspory a ekonomika!. TEAM SOLÁRNÍ PANELY.CZ, s.r.o. *Solarni-panely.cz* [online]. [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: http://solarni-panely.cz/solarni-novinky/hybridni-fotovoltaika-to-je-nezavislost-uspory-a-ekonomika

[25] BOŘKOVSKÝ, R. Cesta k energetické nezávislosti. *Techpark* [online]. 2008 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: http://www.solartechnika.sk/solartechnika-42011/cesta-k-energeticke-nezavislosti.html

[26] OSRAM DULUX INTELLIGENT SOLAR 12 V DC VARIO. *OSRAM* [online]. 2012 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: http://www.osram.cz/osram_cz/DOMCNOSTI/Osvtlen_domcnosti/Kompaktn_zivky_/Pehled_vrobk/Inteligentn_kompaktn_zivky/OSRAM_DULUX_INTELLIGENT_SOLAR_12_V_DC_VARIO/index.html

[27] Jednoduchá instalace. *Ovladejsvujdum.cz* [online]. 2011 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: http://www.ovladejsvujdum.cz/jednoducha-instalace

[28] Drakaflex. *Draka* [online]. 2011 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: http://www.draka.cz/index.php?option=com_mtree&task=att_download&link_id=320&cf_id=50

[29] MIKULČÁK, Jiří, a kol. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy.* [s.l.] : Prometheus, 1988. ISBN 80-85849-84-4. Kapitola Prvky a jejich vlastnosti, s. 119.

[30] GWL/Power: Simple Battery Management Board 16 cells (48V/60A). *I4wifi* [online]. 2012 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: http://www.i4wifi.cz/simple-battery-management-board-16-cells-48v-60a-_d2414.html

[31] SunSaver MPPT. *Mornigstar* [online]. 2011 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: http://www.shop.solar-wind.co.uk/acatalog/Solar_Charge_Controller_Regulator_MPPT_Brochure.pdf

[32] *Joint research center*: *institute for energy and transport* [online]. 2012 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis

[33] Lithiové baterie: LiFePO4. *FG Forte* [online]. 2012 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: http://www.fg-forte.cz/cz/kategorie/241-lithiove-baterie--lifepo4.aspx

[34] Pompe solaire de surface SHURFLO. *Sustpro* [online]. 2011 [cit. 2012-04-10]. Dostupné z: http://www.sustpro.com/FR/fr-FR/pompe_solaire_de_surface_shurflo_2088_deluxe_ 13_l_ min_voltage_24_volts_ecologie_shop-f6341.htm

[35] Waeco CR28 Ltr Electric cooler/Warmbox. *Roadking* [online]. 2007-2012 [cit. 2012-04-10]. Dostupné z: http://www.roadking.co.uk/coolwarm-boxes/waeco-28l-12v24v-coolboxwarmbox.html

[36] Physics and Economy of Energy Storage. *Storage of Renewable Energies* [online]. 2006, s. 1-15 [cit. 2012-04-10]. Dostupné z: http://www.eurosolar.org/new/pdfs_neu/Main/IRES2006_Bossel.pdf

[37] Vsetín, 275Wp, ostrovní FVE. *MyPower.cz* [online]. 2009 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: http://forum.mypower.cz/viewtopic.php?f=3&t=6#p984

[38] KORÁB, V. a PETERKA, J. a ŘEŽŇÁKOVÁ, M. *Podnikatelský plan.* 1 vyd. Brno: Computer press, 2007. 216 s. ISBN 978-80-251-1605-0.

[39] KOUDELA, V. Přehled metod hodnocení efektivnosti investic. In: Ostrava, 2009, s. 7. Dostupné z: http://fast10.vsb.cz/koudela/Ei/P%F8ehled%20metod.doc

Příloha A ZAHRADNÍ DOMEK 12V - PB

Vypracoval: Bc. Michal Straka

Návrh ostrovního fotovoltaického systému

Zahradní domek 12V

Komponenty:	ks		cena	celkem
1. Solární regulátor				
GWL/Power: Solární MPPT regulátor	1	x	2850	2850
2. Měnič napětí				
Bez inventoru - 12,24 V	0	x	0	0
3. Akumulátory				
Aku Hoppecke 135Ah	3	x	8170	24510
4. Fotovoltaikcké panely				
Fotovoltaicky panel 120 Wp EU	4	x	7658	30632
5. Elektrocentrála				
Bez elektrocentrály	0	x	0	0

Celkem ***57992*** **s DPH**

V Brně **Dne:** 13.4.2012

Volba spotřebičů

ID	Spotřebič	OS	AC/DC	Sinusovka	Pmax [W]	Pšpič [W]*	Preal [kW]	Čas provozu [h]	Spotřeba [kWh]
11	chladnička	0	12	mod.	55	55	0,055	24	1,32
12	čerpadlo	0	12	mod.	84	84	0,084	2	0,168
13	osvětlení	0	12	mod.	22	22	0,0132	4	0,0528
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
Σ	suma				161	161	0,1522	24	1,5408

Tabulka výkonů a systémových napětí

W/V [A]	12	24	48
100	8	4	2
200	17	8	4
300	25	13	6
500	42	21	10
1000	83	42	21
2000	167	83	42
2880	240	120	60

Výpočet průřezu (úbytek do 5%)

	vzdálenost [m]	průřez [mm²]	Proud [A]
FV - Technická místnost	8	9,504	
Technická míst. - spotřebič	45	18,9	7

Jmen. Hodnoty: 1,5;2,5;4;6;10;16;25;35;50;70

Zadání parametrů systému

Un [V]	12
Počet dní se sníženou intenzitou	2
DoD [%]	80
Venkovní stání (t_{min})	0
1Wp [Wh/den] - letní provoz	4,1
1Wp [Wh/den] - celoroční provoz	0
Množství vyrobené energie z EC [%]	0
Připojení na výstup LOAD	1
Galvanické oddělení - GO	0

Okrajové podmínky pro výběr

Výkon měniče napětí [W]	500
Kapacita akumulátoru[Ah]	30
Jmenovitý proud SR [A]	20
Provoz letní x celoroční	Letní
Počet cyklů	700

Výpočty proudu;

I_{FV} [A]	19,8
I_{max} [A]	13,4
$I_{max(AKU)}$ [A]	34,5

		Sériově	Paralelně
Počet akumulátorů	3	1	3
Počet FV modulů	4	1	4

Energie potřebná na krytí ztrát [Wh]	6
Výpočet potřebné energie [Wh]	1808
Výpočet výkonu FVG [Wp]	437
Kapacita akumulátorů [Ah]	377

Náklady na ostrovní systém

Cena za komponenty [Kč]	57992
Náklady na 1 kWh [Kč]	32078
Náklady na akumulaci 1 kWh [Kč]	13557

Solární regulátor

ID	Solární regulátor	MPPT	Un [V]	U_{oc} [V]	In [A]	baterie	Umin [V]	Účinnost [-]	Ztráty on [W]	Ztráty SB [W]	Cena [Kč]
113	GWL/Power: Solární MPPT	1	12/24	150	20	VRLA/LiFePO4	nast.	0,95	0,24	0,24	2850

Měnič napětí

ID	Měnič napětí	GO	sinusovka	Un [V]	Výkon [W]	Špičkově [W]	Umin [V]	Účinnost [-]	Ztráty on [W]	Ztráty SB [W]	Cena [Kč]
200	Bez inventoru - 12,24 V	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

Akumulátor

ID	Akumulátor (článek)	Typ	Un [V]	$t_{min.}$ [°C]	Počet cyklů 50%[	Počet cyklů 80%[-	Účinnost [-]	C100 [Ah]	I100 [A]	Umin(100) [V]	Cmin [Ah]	Imax [A]	Umin [V]	Cena [Kč]
306	Aku Hoppecke 135Ah	VRLA	12	-10	1500	700	0,9	134,2	1,342	11,1	115	11,5	10,8	8170

Panely

ID	Panely	Typ	Un [V]	Výkon [W]	U_{max} [V]	I_{max} [A]	U_{oc} [V]	I_{sc} [A]	Cena [Kč]
403	Fotovoltaicky panel 120 Wp EU	poly	12	120	18,19	4,95	22	5,65	7658

Elektrocentrála

ID	Název	Typ	Un [V]	Výkon [W]					Cena [Kč]
500	POUZE LETNÍ PROVOZ	-	-	-					0

Finanční vyhodnocení

Cena za 1 Kwh [Kč]	5,594
Ušetřená poč. investice [Kč]	45000
Kč/měsíc [Kč]	282,58
Prostá doba návratnosti [měsíc]	46

Příloha B ZAHRADNÍ DOMEK 24V - PB

Vypracoval: Bc. Michal Straka

Návrh ostrovního fotovoltaického systému

Zahradní domek 24 V

Komponenty:	ks		cena	celkem
1. Solární regulátor				
GWL/Power: Solární MPPT regulátor	1	x	2850	2850
2. Měnič napětí				
Bez inventoru - 12,24 V	0	x	0	0
3. Akumulátory				
Aku Hoppecke 105Ah	4	x	7222	28888
4. Fotovoltaikcké panely				
Solon Blue 220 Wp	2	x	7866	15732
5. Elektrocentrála				
Bez elektrocentrály	0	x	0	0

Celkem ***47470*** **s DPH**

V Brně **Dne:** 13.4.2012

Volba spotřebičů

ID	Spotřebič	OS	AC/DC	Sinusovka	Pmax [W]	Pšpič [W]*	Preal [kW]	Čas provozu [h]	Spotřeba [kWh]
11	chladnička	0	24	mod.	55	55	0,055	24	1,32
12	čerpadlo	0	24	mod.	84	84	0,084	2	0,168
13	osvětlení	0	24	mod.	22	22	0,0132	4	0,0528
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
Σ	suma				161	161	0,1522	24	1,5408

Tabulka výkonů a systémových napětí

W/V [A]	12	24	48
100	8	4	2
200	17	8	4
300	25	13	6
500	42	21	10
1000	83	42	21
2000	167	83	42
2880	240	120	60

Výpočet průřezu (úbytek do 5%)

	vzdálenost [m]	průřez [mm²]	Proud [A]
FV - Technická místnost	8	3,672	
Technická míst. - spotřebič	45	9,45	7

Jmen. Hodnoty: 1,5;2,5;4;6;10;16;25;35;50;70

Zadání parametrů systému

Un [V]	24
Počet dní se sníženou intenzitou	2
DoD [%]	80
Venkovní stání (t_{min})	0
1Wp [Wh/den] - letní provoz	4,1
1Wp [Wh/den] - celoroční provoz	0
Množství vyrobené energie z EC [%]	0
Připojení na výstup LOAD	1
Galvanické oddělení - GO	0

Okrajové podmínky pro výběr

Výkon měniče napětí [W]	0
Kapacita akumulátoru[Ah]	30
Jmenovitý proud SR [A]	5
Provoz letní x celoroční	Letní
Počet cyklů	700

Výpočty prod;

I_{FV} [A]	15,3
I_{max} [A]	6,7
$I_{max(AKU)}$ [A]	18

		Sériově	Paralelně
Počet akumulátorů	4	2	2
Počet FV modulů	2	1	2

Energie potřebná na krytí ztrát [Wh]	6
Výpočet potřebné energie [Wh]	1808
Výpočet výkonu FVG [Wp]	437
Kapacita akumulátorů [Ah]	188

Náklady na ostrovní systém

Cena za komponenty [Kč]	47470
Náklady na 1 kWh [Kč]	26257
Náklady na akumulaci 1 kWh [Kč]	15979

Solární regulátor

ID	Solární regulátor	MPPT	Un [V]	U_{oc} [V]	In [A]	baterie	Umin [V]	Účinnost [-]	Ztráty on [W]	Ztráty SB [W]	Cena [Kč]
113	GWL/Power: Solární MPPT	1	12/24	150	20	VRLA/LiFePO4	nast.	0,95	0,24	0,24	2850

Měnič napětí

ID	Měnič napětí	GO	sinusovka	Un [V]	Výkon [W]	Špičkově [W]	Umin [V]	Účinnost [-]	Ztráty on [W]	Ztráty SB [W]	Cena [Kč]
200	Bez inventoru - 12,24 V	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

Akumulátor

ID	Akumulátor (článek)	Typ	Un [V]	$t_{min.}$ [°C]	Počet cyklů 50%[	Počet cyklů 80%[-	Účinnost [-]	C100 [Ah]	I100 [A]	Umin(100) [V]	Cmin [Ah]	Imax [A]	Umin [V]	Cena [Kč]
305	Aku Hoppecke 105Ah	VRLA	12	-10	1500	700	0,9	105	1,05	11,1	90	9	10,8	7222

Panely

ID	Panely	Typ	Un [V]	Výkon [W]	U_{max} [V]	I_{max} [A]	U_{oc} [V]	I_{sc} [A]	Cena [Kč]
404	Solon Blue 220 Wp	poly	24	220	28,8	7,65	36,4	8,3	7866

Elektrocentrála

ID	Název	Typ	Un [V]	Výkon [W]					Cena [Kč]
500	POUZE LETNÍ PROVOZ	-	-	-					0

Finanční vyhodnocení

Cena za 1 Kwh [Kč]	5,594
Ušetřená poč. investice [Kč]	45000
Kč/měsíc [Kč]	282,58
Prostá doba návratnosti [měsíc]	9

Příloha C ZAHRADNÍ DOMEK 24V – LIFEPO$_4$

Vypracoval: Bc. Michal Straka

Návrh ostrovního fotovoltaického systému

Zahradní domek 24 V – akumy LiFePO$_4$

Komponenty:	ks		cena	celkem
1. Solární regulátor				
GWL/Power: Solární MPPT regulátor	1	x	2850	2850
2. Měnič napětí				
Bez inventoru - 12,24 V	0	x	0	0
3. Akumulátory				
WB-LYP100AHA LiFeYPO4 (3.2V/100Ah)	16	x	3456	55296
4. Fotovoltaikcké panely				
Solon Blue 220 Wp	2	x	7866	15732
5. Elektrocentrála				
Bez elektrocentrály	0	x	0	0

Celkem ***73878*** **s DPH**

V Brně **Dne:** 13.4.2012

Volba spotřebičů

ID	Spotřebič	OS	AC/DC	Sinusovka	Pmax [W]	Pšpič [W]*	Preal [kW]	Čas provozu [h]	Spotřeba [kWh]
11	chladnička	0	24	mod.	55	55	0,055	24	1,32
12	čerpadlo	0	24	mod.	84	84	0,084	2	0,168
13	osvětlení	0	24	mod.	22	22	0,0132	4	0,0528
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
Σ	suma				161	161	0,1522	24	1,5408

Tabulka výkonů a systémových napětí

W/V [A]	12	24	48
100	8	4	2
200	17	8	4
300	25	13	6
500	42	21	10
1000	83	42	21
2000	167	83	42
2880	240	120	60

Výpočet průřezu (úbytek do 5%)

	vzdálenost [m]	průřez [mm²]	Proud [A]
FV - Technická místnost	8	3,672	
Technická míst. - spotřebič	45	9,45	7

Jmen. Hodnoty: 1,5;2,5;4;6;10;16;25;35;50;70

Zadání parametrů systému

Un [V]	24
Počet dní se sníženou intenzitou	2
DoD [%]	80
Venkovní stání (t_{min})	0
1Wp [Wh/den] - letní provoz	0,8
1Wp [Wh/den] - celoroční provoz	0
Množství vyrobené energie z EC [%]	0
Připojení na výstup LOAD	1
Galvanické oddělení - GO	0

Okrajové podmínky pro výběr

Výkon měniče napětí [W]	0
Kapacita akumulátoru[Ah]	30
Jmenovitý proud SR [A]	5
Provoz letní x celoroční	Letní
Počet cyklů	3000

Výpočty prod.

I_{FV} [A]	15,3
I_{max} [A]	6,7
$I_{max(AKU)}$ [A]	640

		Sériově	Paralelně
Počet akumulátorů	16	8	2
Počet FV modulů	2	1	2

Energie potřebná na krytí ztrát [Wh]	6
Výpočet potřebné energie [Wh]	1808
Výpočet výkonu FVG [Wp]	2260
Kapacita akumulátorů [Ah]	188

Náklady na ostrovní systém

Cena za komponenty [Kč]	73878
Náklady na 1 kWh [Kč]	40865
Náklady na akumulaci 1 kWh [Kč]	30586

Solární regulátor

ID	Solární regulátor	MPPT	Un [V]	U_{oc} [V]	In [A]	baterie	Umin [V]	Účinnost [-]	Ztráty on [W]	Ztráty SB [W]	Cena [Kč]
113	GWL/Power: Solární MPPT	1	12/24	150	20	VRLA/LiFePO4	nast.	0,95	0,24	0,24	2850

Měnič napětí

ID	Měnič napětí	GO	sinusovka	Un [V]	Výkon [W]	Špičkově [W]	Umin [V]	Účinnost [-]	Ztráty on [W]	Ztráty SB [W]	Cena [Kč]
200	Bez inventoru - 12,24 V	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

Akumulátor

ID	Akumulátor (článek)	Typ	Un [V]	$t_{min.}$ [°C]	Počet cyklů 50%[	Počet cyklů 80%[-	Účinnost [-]	C100 [Ah]	I100 [A]	Umin(100) [V]	Cmin [Ah]	Imax [A]	Umin [V]	Cena [Kč]
316	WB-LYP100AHA LiFeYPO4 (3.2V/100Ah)	LiFePO4	3,2	-45	-	3000	0,9	100	50	2,5	100	300	2,5	3456

Panely

ID	Panely	Typ	Un [V]	Výkon [W]	U_{max} [V]	I_{max} [A]	U_{oc} [V]	I_{sc} [A]	Cena [Kč]
404	Solon Blue 220 Wp	poly	24	220	28,8	7,65	36,4	8,3	7866

Elektrocentrála

ID	Název	Typ	Un [V]	Výkon [W]					Cena [Kč]
500	POUZE LETNÍ PROVOZ	-	-	-					0

Finanční vyhodnocení

Cena za 1 Kwh [Kč]	5,594
Ušetřená poč. investice [Kč]	45000
Kč/měsíc [Kč]	282,58
Prostá doba návratnosti [měsíc]	103

Příloha D RODINNÁ CHATA

Vypracoval: Bc. Michal Straka

Návrh ostrovního fotovoltaického systému

Rodinná chata – 24 V

Komponenty:	ks		cena	celkem
1. Solární regulátor				
WL/Power: Solární MPPT regulátor	1	x	5800	5800
2. Měnič napětí				
Střídač Studer AJ 2400-24	1	x	34000	34000
3. Akumulátory				
WB-LYP160AHA LiFeYPO4 (3.2V/200Ah)	14	x	6876	96264
4. Fotovoltaikcké panely				
Solon Blue 220 Wp	4	x	7866	31464
5. Elektrocentrála				
Bez elektrocentrály	0	x	0	0

Celkem ***167528*** **s DPH**

V Brně **Dne:** 13.4.2012

Volba spotřebičů

ID	Spotřebič	OS	AC/DC	Sinusovka	Pmax [W]	Pšpič [W]*	Preal [kW]	Čas provozu [h]	Spotřeba [kWh]
1	osvětlení	0	230	mod.	60	60	0,06	5	0,3
2	čerpadlo	0	230	mod.	450	2700	0,45	1	0,45
3	Lednice	0	230	mod.	80	880	0,0172	24	0,413
4	TV LCD	0	230	mod.	127	254	0,127	5	0,635
5	NB	0	230	mod.	75	150	0,075	3	0,225
6	XboX	1	230	čistá	170	340	0,15	0,5	0,075
7	Rychlovarná konvice	1	230	mod.	950	950	0,95	0,05	0,0475
10	mikrovlnka	1	230	mod.	900	900	0,9	0,1	0,09
8	ostatní	1	230	mod.	20	40	0,02	3	0,06
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
Σ	suma				1742	4994	2,749	24	2,296

Tabulka výkonů a systémových napětí

W/V [A]	12	24	48
100	8	4	2
200	17	8	4
300	25	13	6
500	42	21	10
1000	83	42	21
2000	167	83	42
2880	240	120	60

Výpočet průřezu (úbytek do 5%)

	vzdálenost [m]	průřez [mm²]	Proud [A]
FV - Technická místnost	4	3,672	
Technická míst.- spotřebič	0	0	7

Jmen. Hodnoty: 1,5;2,5;4;6;10;16;25;35;50;70

Zadání parametrů systému

Un [V]	24
Počet dní se sníženou intenzitou	2
DoD [%]	80
Venkovní stání (t_{min})	0
1Wp [Wh/den] - letní provoz	3,8
1Wp [Wh/den] - celoroční provoz	0
Množství vyrobené energie z EC [%]	0
Připojení na výstup LOAD	0
Galvanické oddělení - GO	1

Okrajové podmínky pro výběr

Výkon měniče napětí [W]	500
Kapacita akumulátoru[Ah]	30
Jmenovitý proud SR [A]	5
Provoz letní x celoroční	Letní
Počet cyklů	3000

Výpočty proudu

I_{FV} [A]	30,6
I_{max} [A]	72,6
$I_{max(AKU)}$ [A]	1120

		Sériově	Paralelně
Počet akumulátorů	14	7	2
Počet FV modulů	4	4	1

Energie potřebná na krytí ztrát [Wh]	390
Výpočet potřebné energie [Wh]	3246
Výpočet výkonu FVG [Wp]	854
Kapacita akumulátorů [Ah]	338

Náklady na ostrovní systém

Cena za komponenty [Kč]	167528
Náklady na 1 kWh [Kč]	51612
Náklady na akumulaci 1 kWh [Kč]	29657

Solární regulátor

ID	Solární regulátor	MPPT	Un [V]	U_{oc} [V]	In [A]	baterie	Umin [V]	Účinnost [-]	Ztráty on [W]	Ztráty SB [W]	Cena [Kč]
112	WL/Power: Solární MPPT re	1	12/24	150	45	VRLA/LiFePO4	-	0,95	0,24	0,24	5800

Měnič napětí

ID	Měnič napětí	GO	sinusovka	Un [V]	Výkon [W]	Špičkově [W]	Umin [V]	Účinnost [-]	Ztráty on [W]	Ztráty SB [W]	Cena [Kč]
218	Střídač Studer AJ 2400-24	1	Čistá	24	2000	5200	21	0,94	16	1,2	34000

Akumulátor

ID	Akumulátor (článek)	Typ	Un [V]	$t_{min.}$ [°C]	Počet cyklů 50%[	Počet cyklů 80%[-	Účinnost [-]	C100 [Ah]	I100 [A]	Umin(100) [V]	Cmin [Ah]	Imax [A]	Umin [V]	Cena [Kč]
318	WB-LYP160AHA LiFeYPO4 (3.2V/200Ah)	LiFePO4	3,2	-45	-	3000	0,9	200	100	2,5	200	600	2,5	6876

Panely

ID	Panely	Typ	Un [V]	Výkon [W]	U_{max} [V]	I_{max} [A]	U_{oc} [V]	I_{sc} [A]	Cena [Kč]
404	Solon Blue 220 Wp	poly	24	220	28,8	7,65	36,4	8,3	7866

Elektrocentrála

ID	Název	Typ	Un [V]	Výkon [W]					Cena [Kč]
500	POUZE LETNÍ PROVOZ	-	-	-					0

Finanční vyhodnocení

Cena za 1 Kwh [Kč]	0
Ušetřená poč. investice [Kč]	0
Kč/měsíc [Kč]	0
Prostá doba návratnosti [měsíc]	0

Příloha E RODINNÁ CHATA BŘEZEN – ŘÍJEN

Vypracoval: Bc. Michal Straka

Návrh ostrovního fotovoltaického systému

Rodinná chata březen – říjen

Komponenty:	ks		cena	celkem
1. Solární regulátor				
WL/Power: Solární MPPT regulátor	1	x	5800	5800
2. Měnič napětí				
Střídač Studer AJ 2400-24	1	x	34000	34000
3. Akumulátory				
WB-LYP160AHA LiFeYPO4 (3.2V/200Ah)	14	x	6876	96264
4. Fotovoltaikcké panely				
Solon Blue 220 Wp	4	x	7866	31464
5. Elektrocentrála				
Bez elektrocentrály	0	x	0	0

Celkem ***167528*** **s DPH**

V Brně **Dne:** 13.4.2012

Volba spotřebičů

ID	Spotřebič	OS	AC/DC	Sinusovka	Pmax [W]	Pšpič [W]*	Preal [kW]	Čas provozu [h]	Spotřeba [kWh]
1	osvětlení	0	230	mod.	60	60	0,06	5	0,3
2	čerpadlo	0	230	mod.	450	2700	0,45	1	0,45
3	Lednice	0	230	mod.	80	880	0,0172	24	0,413
4	TV LCD	0	230	mod.	127	254	0,127	1	0,127
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
0	-	0	0	-	0	0	0	0	0
Σ	suma				717	3894	0,654	24	1,290

Tabulka výkonů a systémových napětí

W/V [A]	12	24	48
100	8	4	2
200	17	8	4
300	25	13	6
500	42	21	10
1000	83	42	21
2000	167	83	42
2880	240	120	60

Výpočet průřezu (úbytek do 5%)

	vzdálenost [m]	průřez [mm²]	Proud [A]
FV - Technická místnost	4	3,672	
Technická míst. - spotřebič	0	0	7

Jmen. Hodnoty: 1,5;2,5;4;6;10;16;25;35;50;70

Zadání parametrů systému

Un [V]	24
Počet dní se sníženou intenzitou	2
DoD [%]	80
Venkovní stání (t_{min})	0
1Wp [Wh/den] - letní provoz	2,5
1Wp [Wh/den] - celoroční provoz	0
Množství vyrobené energie z EC [%]	0
Připojení na výstup LOAD	0
Galvanické oddělení - GO	1

Okrajové podmínky pro výběr

Výkon měniče napětí [W]	500
Kapacita akumulátoru[Ah]	30
Jmenovitý proud SR [A]	5
Provoz letní x celoroční	Letní
Počet cyklů	3000

Výpočty proudu

I_{FV} [A]	30,6
I_{max} [A]	29,9
$I_{max(AKU)}$ [A]	1120

		Sériově	Paralelně
Počet akumulátorů	14	7	2
Počet FV modulů	4	4	1

Energie potřebná na krytí ztrát [Wh]	390
Výpočet potřebné energie [Wh]	1995
Výpočet výkonu FVG [Wp]	798
Kapacita akumulátorů [Ah]	208

Solární regulátor

ID	Solární regulátor	MPPT	Un [V]	U_{oc} [V]	In [A]	baterie	Umin [V]	Účinnost [-]	Ztráty on [W]	Ztráty SB [W]	Cena [Kč]
112	WL/Power: Solární MPPT re	1	12/24	150	45	VRLA/LiFePO4	-	0,95	0,24	0,24	5800

Měnič napětí

ID	Měnič napětí	GO	sinusovka	Un [V]	Výkon [W]	Špičkově [W]	Umin [V]	Účinnost [-]	Ztráty on [W]	Ztráty SB [W]	Cena [Kč]
218	Střídač Studer AJ 2400-24	1	čistá	24	2000	5200	21	0,94	16	1,2	34000

Akumulátor

ID	Akumulátor (článek)	Typ	Un [V]	$t_{min.}$ [°C]	Počet cyklů 50%[	Počet cyklů 80%[-	Účinnost [-]	C100 [Ah]	I100 [A]	Umin(100) [V]	Cmin [Ah]	Imax [A]	Umin [V]	Cena [Kč]
318	WB-LYP160AHA LiFeYPO4 (3.2V/200Ah)	LiFePO4	3,2	-45	-	3000	0,9	200	100	2,5	200	600	2,5	6876

Panely

ID	Panely	Typ	Un [V]	Výkon [W]	U_{max} [V]	I_{max} [A]	U_{oc} [V]	I_{sc} [A]	Cena [Kč]
404	Solon Blue 220 Wp	poly	24	220	28,8	7,65	36,4	8,3	7866

Elektrocentrála

ID	Název	Typ	Un [V]	Výkon [W]					Cena [Kč]
500	POUZE LETNÍ PROVOZ	-	-	-					0

Finanční vyhodnocení

Cena za 1 Kwh [Kč]	0
Ušetřená poč. investice [Kč]	0
Kč/měsíc [Kč]	0
Prostá doba návratnosti [měsíc]	0

Náklady na ostrovní systém

Cena za komponenty [Kč]	167528

Náklady na 1 kWh [Kč]	83981
Náklady na akumulaci 1 kWh [Kč]	48257

Příloha F RODINNÝ DŮM

Vypracoval: Bc. Michal Straka

Návrh ostrovního fotovoltaického systému

Rodinný dům

Komponenty:	ks		cena	celkem
1. Solární regulátor				
Morningstar Tristar 60A, 12,24,48V	1	x	10000	10000
2. Měnič napětí				
Sunny Island 4248	1	x	48790	48790
3. Akumulátory				
WB-LYP200AHA LiFeYPO4 (3.2V/400Ah)	30	x	13728	411840
4. Fotovoltaikcké panely				
Solon Blue 220 Wp	14	x	7866	110124
5. Elektrocentrála				
Heron EGM 65 AVR-3	1	x	26357	26357

Celkem ***607111*** **s DPH**

V Brně **Dne:** 13.4.2012

Volba spotřebičů

ID	Spotřebič	OS	AC/DC	Sinusovka	Pmax [W]	Pšpič [W]*	Preal [kW]	Čas provozu [h]	Spotřeba [kWh]
1	osvětlení	0	230	mod.	85	85	0,085	5	0,425
2	vodárna	0	230	mod.	1000	6000	1	1	1
3	Lednice	0	230	mod.	80	1200	0,0172	24	0,413
4	TV LCD	0	230	mod.	127	254	0,08	4	0,32
5	NB	1	230	mod.	75	150	0,075	3	0,225
6	NB	0	230	mod.	85	170	0,075	7	0,525
7	Rychlovarná konvice	1	230	mod.	950	950	0,95	0,1	0,095
10	mikrovlnka	1	230	mod.	900	900	0,9	0,1	0,09
8	pračka/myčka	1	230	mod.	2000	2000	0,65	0,8	0,52
11	ostatní	1	230	čistá	800	1500	0,6	1	0,6
12	Foxtrot -VS	0	230	mod.	10	5	0,01	24	0,24
Σ	suma				3387	9714	4,442	24	4,453

Tabulka výkonů a systémových napětí

W/V [A]	12	24	48
100	8	4	2
200	17	8	4
300	25	13	6
500	42	21	10
1000	83	42	21
2000	167	83	42
2880	240	120	60

Výpočet průřezu (úbytek do 5%)

	vzdálenost [m]	průřez [mm²]	Proud [A]
FV - Technická místnost	7	5,62275	
Technická míst. - spotřebič	5	0	7

Jmen. Hodnoty: 1,5;2,5;4;6;10;16;25;35;50;70

Zadání parametrů systému

Un [V]	48
Počet dní se sníženou intenzitou	5
DoD [%]	80
Venkovní stání (t_{min})	-10
1Wp [Wh/den] - letní provoz	2,8
1Wp [Wh/den] - celoroční provoz	1,5
Množství vyrobené energie z EC [%]	25
Připojení na výstup LOAD	0
Galvanické oddělení - GO	1

Okrajové podmínky pro výběr

Výkon měniče napětí [W]	500
Kapacita akumulátoru[Ah]	30
Jmenovitý proud SR [A]	30
Provoz letní x celoroční	celoroční
Počet cyklů	3000

Výpočty proudu

I_{FV} [A]	53,55
I_{max} [A]	70,6
$I_{max(AKU)}$ [A]	2400

		Sériově	Paralelně
Počet akumulátorů	30	15	2
Počet FV modulů	14	2	7

Energie potřebná na krytí ztrát [Wh]	624
Výpočet potřebné energie [Wh]	6106
Výpočet výkonu FVG [Wp]	3053
Kapacita akumulátorů [Ah]	795

Náklady na ostrovní systém

Cena za komponenty [Kč]	607111
Náklady na 1 kWh [Kč]	99424
Náklady na akumulaci 1 kWh [Kč]	67445

Solární regulátor

ID	Solární regulátor	MPPT	Un [V]	U_{oc} [V]	In [A]	baterie	Umin [V]	Účinnost [-]	Ztráty on [W]	Ztráty SB [W]	Cena [Kč]
106	Morningstar Tristar 60A, 12	1	12/24/36/4	150	60	VRLA/LiFePO4	11,5	0,95	4	1,68	10000

Měnič napětí

ID	Měnič napětí	GO	sinusovka	Un [V]	Výkon [W]	Špičkově [W]	Umin [V]	Účinnost [-]	Ztráty on [W]	Ztráty SB [W]	Cena [Kč]
221	Sunny Island 4248	1	čistá	48	4200	11400	41	0,95	22	4	48790

Akumulátor

ID	Akumulátor (článek)	Typ	Un [V]	$t_{min.}$ [°C]	Počet cyklů 50%[	Počet cyklů 80%[-	Účinnost [-]	C100 [Ah]	I100 [A]	Umin(100) [V]	Cmin [Ah]	Imax [A]	Umin [V]	Cena [Kč]
318	WB-LYP200AHA LiFeYPO4 (3.2V/400Ah)	LiFePO4	3,2	-45	-	3000	0,9	400	200	2,5	400	1200	2,5	13728

Panely

ID	Panely	Typ	Un [V]	Výkon [W]	U_{max} [V]	I_{max} [A]	U_{oc} [V]	I_{sc} [A]	Cena [Kč]
404	Solon Blue 220 Wp	poly	24	220	28,8	7,65	36,4	8,3	7866

Elektrocentrála

ID	Název	Typ	Un [V]	Výkon [W]	Spotřeba [l/kWh]	Startování			Cena [Kč]
505	Heron EGM 65 AVR-3	třífázové	400/230	6500	0,45	elektrické			26357

Finanční vyhodnocení

Cena za 1 Kwh [Kč]	4
Ušetřená poč. investice [Kč]	4500
Kč/měsíc [Kč]	534,36
Prostá doba návratnosti [měsíc]	1137

Příloha G FINANČNÍ VYHODNOCENÍ – ZAHRADNÍ DOMEK

Popis	Jednotky	12V	24V DoD - 80%	24V DoD - 50%	24 V LiFePO4 (200Ah)
Náklady na ostrovní systém	[Kč]	57.992	47.470	61.914	73.878
Náklady na elektrickou přípojku	[Kč]	45.000	45.000	45.000	45.000
Náklady na akumulaci	[kč]	24.510	28.888	43.332	55.296
Životnost systému	[roky]	4	4	9	20
Úrokový míra - i	[%]	0,25	0,25	0,25	0,25
Očekávaný zisk z investice	[Kč/rok]	1.6764	1.6764	1.6764	1.6764
Čistá současná hodnota - NPV	[Kč]	-6..328	4.194	-2.013	3.786
Vnitřní výnosové procento - IRR	[%]	-9	7	-2	1
Doba návratnosti - DN	[roky]	7,7	1,5	10,1	17,23
Diskontované náklady -DC	[Kč]	147.080	153.639	102.644	73.878

12V			**24V DoD - 80%**			**24V DoD - 50%**			**24 V $LiFePO_4$ (200Ah)**			**Elektrická přípojka**		
roky	tržby	P^A	roky	tržby	P^A	roky	tržby	P^A	roky	tržby	P^A	roky	náklady	P^A
[-]	[Kč]	[Kč]	[-]	[Kč]	[Kč]	[-]	[Kč]	[Kč]	[-]	[Kč]	[Kč]	[-]	[Kč]	[Kč]
0		-12992	0		-47470	0		-61914	0		-73878	0		-45000
1	1676,4	46672	1	1676,4	46672	1	1676,4	46672	1	1676,4	46672	1	-1676,4	-1672
2	1676,4	1668	2	1676,4	1668	2	1676,4	1668	2	1676,4	1668	2	-1676,4	-1668
3	1676,4	1664	3	1676,4	1664	3	1676,4	1664	3	1676,4	1664	3	-1676,4	-1664
4	1676,4	1660	4	1676,4	1660	4	1676,4	1660	4	1676,4	1660	4	-1676,4	-1660
						5	1676,4	1656	5	1676,4	1656	5	-1676,4	-1656
NPV	-6328	Kč	NPV	4194	Kč	6	1676,4	1651	6	1676,4	1651	6	-1676,4	-1651
IRR	-22	%	IRR	7	%	7	1676,4	1647	7	1676,4	1647	7	-1676,4	-1647
DN	7,7	let	DN	1,5	let	8	1676,4	1643	8	1676,4	1643	8	-1676,4	-1643
						9	1676,4	1639	9	1676,4	1639	9	-1676,4	-1639
									10	1676,4	1635	10	-1676,4	-1635
						NPV	-2013	Kč	11	1676,4	1631	11	-1676,4	-1631
						IRR	-2	%	12	1676,4	1627	12	-1676,4	-1627
						DN	10,1	let	13	1676,4	1623	13	-1676,4	-1623
									14	1676,4	1619	14	-1676,4	-1619
									15	1676,4	1615	15	-1676,4	-1615
									16	1676,4	1611	16	-1676,4	-1611
									17	1676,4	1607	17	-1676,4	-1607
									18	1676,4	1603	18	-1676,4	-1603
									19	1676,4	1599	19	-1676,4	-1599
									20	1676,4	1595	20	-1676,4	-1595
									NPV	3786	Kč	DC	77664	Kč
									IRR	1	%			
									DN	17,23	let			

Příloha H FINANČNÍ VYHODNOCENÍ – RODINNÁ CHATA

Popis	Jednotky	ostrovní FV systém	Elektrocentrála
Náklady na ostrovní systém	[Kč]	167.528	141.934
Náklady na provoz	[Kč/rok]	0	10413
Životnost systému	[roky]	20	20
Úrokový míra - i	[%]	0,25	0,25
Diskontované náklady - DC	[Kč]	167.528	344.826

FV ostrovní systém				**Elektrocentrála**		
roky	Náklady	P^A		roky	Náklady	P^A
[-]	[Kč]	[Kč]		[-]	[Kč]	[Kč]
0		619496		0		141934
1	0	0		1	10413	10387
2	0	0		2	10413	10361
3	0	0		3	10413	10335
4	0	0		4	10413	10310
5	0	0		5	10413	10284
6	0	0		6	10413	10258
7	0	0		7	10413	10233
8	0	0		8	10413	10207
9	0	0		9	10413	10182
10	0	0		10	10413	10156
11	0	0		11	10413	10131
12	0	0		12	10413	10106
13	0	0		13	10413	10080
14	0	0		14	10413	10055
15	0	0		15	10413	10030
16	0	0		16	10413	10005
17	0	0		17	10413	9980
18	0	0		18	10413	9955
19	0	0		19	10413	9931
20	0	0		20	10413	9906
DC	167528	Kč		DC	344826	Kč

Příloha I FINANČNÍ VYHODNOCENÍ – RODINNÝ DŮM

Popis	Jednotky	ostrovní FV systém	Přípojka
Náklady na ostrovní systém	[Kč]	619.496	45.000
Náklady na provoz	[Kč/rok]	4.017	12.586
Životnost systému	[roky]	25	25
Úrokový míra - i	[%]	0,25	0,25
Diskontované náklady - DC	[Kč]	716.729	349.655

FV ostrovní systém				**Elektrická přípojka**		
roky	Náklady	P^A		roky	Náklady	P^A
[-]	[Kč]	[Kč]		[-]	[Kč]	[Kč]
0		619496		0		45000
1	4017	4007		1	12586,2	12555
2	4017	3997		2	12586,2	12524
3	4017	3987		3	12586,2	12492
4	4017	3977		4	12586,2	12461
5	4017	3967		5	12586,2	12430
6	4017	3957		6	12586,2	12399
7	4017	3947		7	12586,2	12368
8	4017	3938		8	12586,2	12337
9	4017	3928		9	12586,2	12307
10	4017	3918		10	12586,2	12276
11	4017	3908		11	12586,2	12245
12	4017	3898		12	12586,2	12215
13	4017	3889		13	12586,2	12184
14	4017	3879		14	12586,2	12154
15	4017	3869		15	12586,2	12124
16	4017	3860		16	12586,2	12093
17	4017	3850		17	12586,2	12063
18	4017	3840		18	12586,2	12033
19	4017	3831		19	12586,2	12003
20	4017	3821		20	12586,2	11973
21	4017	3812		21	12586,2	11943
22	4017	3802		22	12586,2	11913
23	4017	3793		23	12586,2	11884
24	4017	3783		24	12586,2	11854
25	4017	3774		25	12586,2	11825
DC	716729	Kč		DC	349655	Kč