

VŠB-Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2015

Miroslav Přivřel

VŠB-Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Konfigurace ostrovního systému
Off-grid Power System Configuration

2015

Miroslav Přivřel

Zadání bakalářské práce

Student: **Miroslav Přivřel**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: **Konfigurace ostrovního systému
Off-grid Power System Configuration**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Analýza spotřeby
3. Návrh části akumulace
4. Návrh zdrojové části
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] M. Anderson, D. Carr, Battery energy storage technologies, Proceedings of the IEEE 81 (3) (1993) 475–479.
[2] W. Lachs, D. Sutanto, Application of battery energy storage in power systems, Proceedings of the International Conference on Power Electronics and Drive Systems, 2, February 21–24, 1995, pp. 700–705.
[3] N. Miller, R. Zrebiec, R. Delmerico, G. Hunt, Battery energy storage systems for electric utility, industrial and commercial applications, in: Proceedings of the Eleven-th Annual Battery Conference on Applications and Advances, January 9–12, 1996, pp. 235–240.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Prokop, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2015

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne: 7. 5. 2015

.....

Podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce **Ing. Lukáš Prokop, Ph.D.** za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této práce.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je navrhnout optimální konfiguraci ostrovního systému, neboli energeticky soběstačného domu. V úvodu práce jsou popsány základní prvky ostrovního systému. Následuje popis vlastní spotřeby konfigurace a její analýza pomocí měření. Ze získaných poznatků byl poté vypracován návrh na výrobu elektrické energie pomocí dvou nezávislých zdrojů, její uskladnění v akumulátorech a návrh všech komponentů pro využití tohoto systému v praxi tj. komponentů potřebných pro uskladnění a využití elektrické energie.

Klíčová slova

ostrovní systém, spotřeba konfigurace ostrovního systému, akumulární část ostrovního systému, zdroje ostrovního systému

Abstract

The aim of this work is to design the optimal configuration of off-grid power system or energy self-sufficient house. The introduction describes the basic elements of off-grid power system. Following is a description of own consumption configuration and it is analysis by measurement. From the results of measurement were drafted a proposal for the production of electrical energy using two independent sources, storage in batteries and designing all components for use of this system in practice, ie. the components needed for the storage and use of electric power.

Key words

off-grid power system, consumption of off-grid power system configuration, accumulation part of off-grid power system, sources of off-grid power system

Seznam použitých symbolů a zkratek:

| | |
|---------------------|---|
| FVE | fotovoltaická elektrárna |
| AGM | akumulátory s elektrolytem nasáknutým do skelné hmoty (Absorbed glass mat) |
| VRLA | ventilem regulované olověné akumulátory (Valve Regulated Lead Acid) |
| LiFePO ₄ | lithium-železo-fosfátové |
| MPPT | regulátor nabíjení sledující maximální výkonový bod (Maximum Power Point tracking) |
| GSM | globální systém pro mobilní komunikaci (Groupe Spécial Mobile) |
| GPRS | služba pro mobilní přenos dat a připojení k internetu (General Packet Radio Service) |
| LAN | místní síť pokrývající malé území (Local Area Network) |
| TN-C-S | uzemněná soustava s kombinovaným pracovním a ochranným vodičem, v posledním možném místě rozděleným na samostatné |
| PEN | kombinovaný ochranný a pracovní vodič |
| PE+N | rozdělený ochranný a pracovní vodič |
| CYKY | měděný kabel s polyvinyl chloridovou izolací vodivého jádra i kabelu |
| $A_{denní}$ | denní spotřeba (kWh) |
| A_{MPPT} | denní spotřeba se ztrátami v regulátoru nabíjení (kWh) |
| $A_{MPPT+ak}$ | denní spotřeba se ztrátami v regulátoru nabíjení a akumulátorech (kWh) |
| $A_{MPPT+ak+mě}$ | denní spotřeba se ztrátami v regulátoru nabíjení, akumulátorech a měniči napětí (kWh) |
| A_{celk} | denní spotřeba s celkovými ztrátami (kWh) |

Obsah

| | |
|---|----|
| 1. Úvod | 2 |
| 2. Ostrovní systém | 3 |
| 2.1 Fotovoltaické panely..... | 5 |
| 2.1.1 Druhy fotovoltaických článků..... | 5 |
| 2.2 Akumulátory..... | 7 |
| 2.2.1 Olověné akumulátory..... | 7 |
| 2.2.2 Lithium-železo-fosfátové akumulátory..... | 8 |
| 2.3 Regulátory nabíjení..... | 9 |
| 2.4 Měníče napětí (střídače)..... | 9 |
| 2.5 Odpojovače..... | 10 |
| 2.6 Vzdálená kontrola a ovládání..... | 11 |
| 3. Analýza spotřeby..... | 12 |
| 3.1 Specifikace napájeného domu..... | 12 |
| 3.2 Naměřená průměrná spotřeba..... | 13 |
| 3.3 Ztráty v ostrovním systému..... | 20 |
| 4. Návrh části akumulace..... | 21 |
| 4.1 Návrh akumulátorů..... | 21 |
| 4.2 Návrh MPPT měniče..... | 23 |
| 4.3 Návrh napěťového měniče..... | 24 |
| 5. Návrh zdrojové části..... | 25 |
| 5.1 Návrh FVE..... | 25 |
| 5.2 Výroba vzhledem ke spotřebě..... | 27 |
| 5.3 Návrh elektrocentrály..... | 29 |
| 6. Celkové náklady na ostrovní systém..... | 31 |
| 7. Závěr..... | 32 |
| 8. Literatura..... | 33 |

1. Úvod

Jelikož není vždy možné odebírat elektrickou energii z distribuční sítě, je třeba hledat jiné cesty, jak elektrickou energii získat. Ve své bakalářské práci se zabývám řešením právě takové situace, kdy není možné elektrickou energii odebírat, zbývá tedy elektrickou energii pro vlastní spotřebu vyrobit.

Spotřebou je myšlen jednopatrový dům, zařízen podle patra mých rodičů v našem rodinném domě. Vybaven všemi spotřebiči umožňující standardní komfort lidského života, jako je skladování a příprava potravin, tekoucí voda, prostředky pro zábavu apod. Ve své práci navrhuji optimální fotovoltaický zdroj elektrické energie, doplněný elektrocentrálou pro zajištění co možná nejstabilnější dodávky elektrické energie, s přihlédnutím k ekonomickému provozu elektrocentrály a tedy co nejnižší nákladům na její provoz. Předpokládám průměrné podmínky ohledně množství dopadající sluneční energie - 1100 kWh/m² pro provoz fotovoltaické elektrárny.

V kapitole 2. a jejích podkapitolách je umístěn popis ostrovního systému a jeho dílčích částí, s popisem funkce jednotlivých částí, jako jsou fotovoltaické panely, akumulátory, MPPT měniče, napěťové měniče (střídače), odpojovače a softwarové ovládání. Kapitola 3. je pak věnována seznámení s uvažovanou konfigurací spotřeby, jejíž elektrotechnická schémata se nacházejí v příloze a měření vlastní spotřeby domu. Kapitola 4. se věnuje návrhu akumulátorů s dostatečnou kapacitou pro zajištění energetického komfortu, návrhu komponentu pro jejich nabíjení, tj. regulátoru nabíjení a návrhu komponentu pro využití naakumulované energie, tj. napěťovému střídači. Návrh zdrojové části je umístěn v kapitole 5. Primárním zdrojem jsou fotovoltaické panely, jejichž počet je přizpůsoben výrobě během celého roku tak, aby energie nescházela po většinu roku. Sekundárním zdrojem je elektrocentrála s automatickým startem, jejíž výkon je dostatečný pro napájení ostrovního systému za dlouhodobých zhoršených podnebních podmínek a která rozšiřuje systém o možnost použití třífázového spotřebiče. V kapitole 6. se nachází celkové shrnutí finančních nákladů.

2. Ostrovní systém

Ostrovním systémem nazýváme obecně takovou soustavu výroby, rozvodu a využití elektrické energie, která není připojena k distribuční síti. Můžeme na ni narazit například tam, kde není možné využívat elektrickou energii z distribuční sítě nebo by vybudování elektrické přípojky bylo neúměrně drahé (např. pro odlehlé sruby). V některých případech jsou ale ostrovní systémy instalovány čistě proto, že jejich provozovatelé předpokládají jejich finanční výhodnost kvůli elektřině vyrobené z vlastních nebo alternativních zdrojů.

Nejjednodušším typem ostrovního systému je ostrovní systém s přímým napájením z alternativního zdroje, například fotovoltaického panelu, větrné turbíny nebo malé vodní elektrárny. Jedná se tedy pouze o přímé spojení zdroje elektrické energie se spotřebičem. Protože alternativní zdroje malých rozměrů a výkonů nejčastěji vyrábí stejnosměrný proud (fotovoltaické panely pouze stejnosměrný proud), musí při jeho použití být spotřebič uzpůsobený na provoz se stejnosměrným napětím. Velikost napětí lze regulovat regulátorem napětí, vloženým mezi zdroj a spotřebič. Připojený spotřebič v takovémto případě funguje pouze po dobu dostatečně příznivých podnebních podmínek, které pro něj vyrábí v alternativním zdroji dostatek elektrické energie. Příkladem využití takového systému může být např. nabíjení akumulátorů malých přístrojů (mobil nebo notebook).

Složitější, ale účelnější, je ostrovní systém s akumulací elektrické energie (znázorněn na obrázku 2.1). Tento systém kromě zdroje elektrické energie využívá také akumulátory. Do nich je ukládána přebytečná elektrická energie v době, kdy její výroba převyšuje spotřebu (například velká rychlost větru, ale dům je právě opuštěný tzn. spotřeba je minimální) a tato energie je poté spotřebována v době, kdy je naopak spotřeba vyšší, než kterou je zapojený zdroj schopen vyrobit. Optimální nabíjení a vybíjení akumulátoru zajišťuje regulátor dobíjení. V takovýchto ostrovních systémech pak mohou fungovat jak spotřebiče napájené stejnosměrným proudem (12/24/48V) tak i běžné síťové spotřebiče (230V), napájené přes napěťový střídač. Je zřejmé, že tento systém lze již využít i k provozu budov, avšak s rizikem, že kapacita zdroje elektřiny a akumulátoru nebude za všech okolností dostatečná.

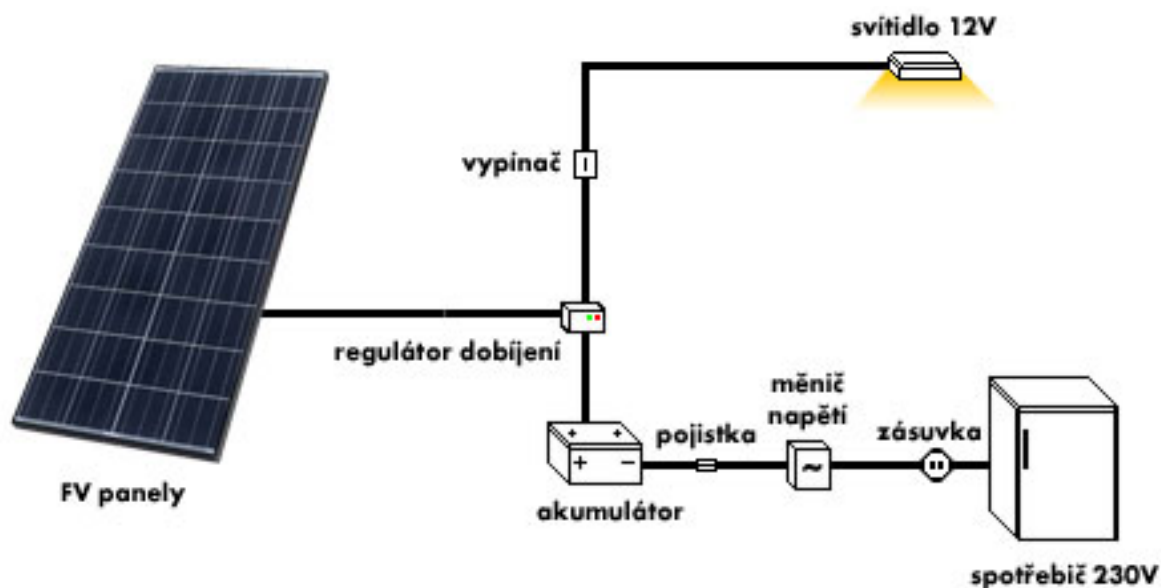
Aby se zajistilo, že ostrovní systém bude fungovat za všech okolností a při měnící se potřebě elektrické energie, lze ostrovní systém s akumulací elektrické energie rozšířit o další, doplňkový zdroj elektřiny, jako je motorem poháněný generátor nebo kombinovat více různých zdrojů. V tomto případě pak hovoříme o hybridním ostrovním systému. Hybridní ostrovní systémy jsou tudíž nejvhodnější pro budovy a jiné objekty, kde se předpokládá celoroční (tedy i zimní) provoz. Takovéto ostrovní systémy je třeba dále kombinovat s chytrou výrobou tepla například v tepelných čerpadlech a solárních kolektorech, neboť výroba tepla a teplé vody pomocí elektrické energie je značně náročná a náklady systému by byly příliš vysoké.

Každý ostrovní systém je nutno navrhovat s adekvátní rezervou výkonu, tak aby pokryl veškerou předpokládanou spotřebu elektrické energie v době jeho vzniku, ale i v budoucnosti. Také je třeba uvažovat jeho finanční výhodnost s ohledem na ušetřenou elektrickou energii, cenu a provozní náklady používaných zařízení. Používané akumulátory by například měly mít o cca 10-20 % větší kapacitu, než se předpokládá pro běžný provoz v době instalace ostrovního systému

a jejich životnost by měla být minimálně 10–12 let, záleží na druhu akumulátoru (vlastnostech). Použité měřiče elektrického napětí by měly být dostatečně citlivé a přitom odolné proti jednorázovému přetížení.

Aby ostrovní systém fungoval účelně a hospodárně, je zároveň třeba uvážlivě přistupovat k celkovému využívání všech druhů energií. Znamená to zejména rozložit během dne spotřebu elektřiny tak, aby se co nejvíce srovnala s výrobou, co nejvíce využívat úsporné spotřebiče (například osvětlení) a nepoužívat elektřinu k výrobě tepla. Pro hospodaření s elektřinou v ostrovních systémech dnes existuje řada ovládacích technologií.

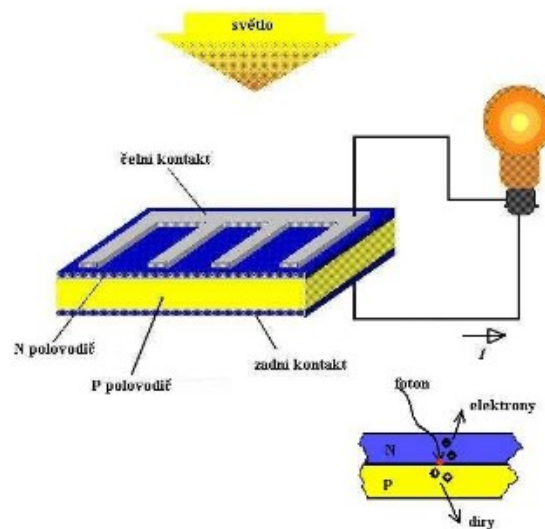
Jak již bylo zmíněno, existuje více alternativních zdrojů elektrické energie využitelných pro ostrovní systém. Pro účely práce uvažuji jako zdroj fotovoltaické panely doplněné elektrocentrálou. Všechny části ostrovního systému jsou popsány níže v podkapitolách.



Obr. 2.1 Ostrovní systém s akumulací

2.1 Fotovoltaické panely

Fotovoltaický panel je tvořen fotovoltaickými články, které umožňují přímou přeměnu světelné energie na energii elektrickou. Jedná se o velkoplošné polovodičové prvky s jedním nebo i více PN přechody. Většina dnes používaných fotočlánků je vyrobena z monokrystalického křemíku a obsahuje polovodičový PN přechod. Princip je takový, že dopadem fotonu ze slunečního záření na atom křemíku, se z něj uvolní elektron. Vznikne pár elektron-díra. V čistém polovodiči by takový pár zase rekombinoval, ale pokud k tomu dojde v blízkosti PN přechodu, je díra vtažena elektrickým polem do P polovodiče a elektron do N polovodiče. V rekombinaci jim brání prahové napětí asi 0,7V. Pokud mezi P a N částí polovodiče uzavřeme obvod, může jím protékat proud a fotočlánek funguje jako zdroj. Napětí, které dodává jeden PN přechod ve fotočlánku je malé asi 0,5 až 0,7 V, proto se fotočlánky řadí do série (pro zvýšení napětí) a paralelně (pro zvýšení proudu). Většinou v jednom fotovoltaickém panelu je řada fotočlánků (PN přechodů) zapojených do série. Účinnost přeměny světelné energie na elektrickou není vysoká, u běžně používaných fotočlánků je to 13-18 %.



Obr. 2.2 Princip fotovoltaického článku

2.1.1 Druhy fotovoltaických článků

Amorfnní články:

Základem je napařovaná křemíková vrstva. Účinnost těchto článků se pohybuje v rozmezí 4 až 8%. Tyto typy článků jsou nejlevnější a jsou využívány v místech, kde nejsme omezeni prostorem. Mají nejmenší závislost na vnějším zastínění a na ročním období.

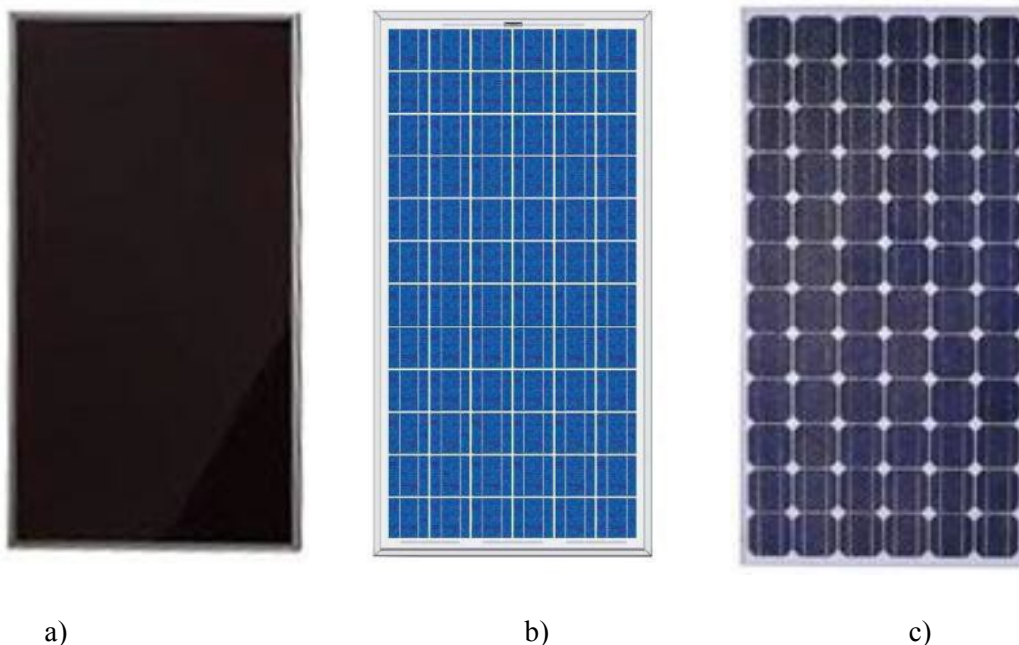
Polykrystalické články:

Základem je křemíková podložka. Články se skládají z většího počtu menších polykrystalů. Účinnost se pohybuje v rozmezí 10 až 16%. Jejich výroba je levnější a rychlejší než u monokrystalických. V našich podmínkách jsou nejlépe využitelné a nejpoužívanější. Je třeba větší plochy než u monokrystalických článků, ale rozdíl ve výkonu v průběhu roku je zanedbatelný. Nejsou citlivé na odklon od jihu, tak jako monokrystalické. Proto je používám v návrhu.

Monokrystalické články:

Základem je, podobně jako u polykrystalických článků, křemíková podložka. Krystaly jsou větší než 10 cm a vyrábí se tažením roztaveného křemíku ve formě tyčí o průměru až 300 mm. Ty se poté rozřezou na tenké plátky (podložky). Účinnost těchto článků se pohybuje v rozmezí 13 až 18%. Jsou ideální zejména pro natáčecí systémy, protože jejich výkon je největší přímo proti slunci. Mají ovšem nejvyšší pořizovací náklady.

V praxi jsou rozhodujícím faktorem rozměry, a tedy i požadovaný výkon a především cena.



Obr. 2.3

- a) Amorfni článek
- b) Polykrystalický článek
- c) Monokrystalický článek

2.2 Akumulátory

Uskladnění elektrické energie probíhá v elektrochemických akumulátorech. Akumulátor je uzavřená nádoba s elektrodami ponořenými do elektrolytu, je ho možné nabít elektrickým proudem a poté jej použít jako zdroj elektrické energie. Nejběžnější typy akumulátorů jsou založeny na elektrochemickém principu (elektrická energie je vázána v chemikálii) např. olovené akumulátory.

Olovené akumulátory mají elektrody ze slitiny olova a antimonu, elektrolytem je zředěná kyselina sírová. Při průchodu proudem elektrolytem (nabíjení) se vlivem chemické reakce zvětšuje hustota elektrolytu, přibývá kyselina sírová. Při vybití se uvolňuje opět voda a hustota elektrolytu se zmenšuje.

Proces nabití a vybití (nabíjecí cyklus) tak lze opakovat i v řádech tisíců. Záleží na druhu akumulátoru, jeho kapacitě a také na údržbě. Kromě olovených mohou být akumulátory oceloniklové, nikloadmiové, zinkostříbrné, lithiumpřehřátové apod. Počet nabíjecích cyklů udává životnost akumulátoru. Protože jsou napětí na svorkách elektrochemických akumulátorů relativně malá (běžně kolem 1,2-2V), jsou tyto články sdružovány do akumulátorových baterií pro dosažení vyššího napětí.

2.2.1 Olovené akumulátory

Trakční akumulátor se zaplavenými elektrodami:

Jedná se o klasický typ akumulátoru, který není hermeticky uzavřený a ze kterého se při nabíjení uvolňuje vodík. Navíc se může během nabíjení vyfouknout spolu s plynem i část z tekutého elektrolytu, takže tento trakční akumulátor může být během provozu potřísněn elektrolytem. Akumulátor může být umístěn pouze v dobře větraných prostorách, umístění v obytných prostorách je naprosto nevhodné. Tento typ akumulátoru má obvykle možnost dobíjení vyšším proudem, než VRLA akumulátor.

Trakční akumulátor v provedení VRLA:

VRLA provedení znamená hermeticky uzavřený bezúdržbový akumulátor s ventilem pro vypouštění plynů v důsledku nesprávného nabíjení. VRLA akumulátory nemohou být obvykle nabíjeny tak velkými proudy jako klasické trakční, ale jejich vlastnosti jsou obvykle lepší než u běžných trakčních akumulátorů se zaplavenými elektrodami. Jedná se zejména o vyšší využitelnou kapacitu a menší samovybití. Akumulátory tohoto typu se dělí na gelové akumulátory a AGM akumulátory.

AGM akumulátory mají kapalný elektrolyt nasáknutý do skelné hmoty, jsou schopné (oproti gelovým akumulátorům) podávat vysoký výkon i při nízkých okolních teplotách, jsou asi o 10% lehčí při stejné kapacitě a jsou schopné dát až o 30% vyšší okamžitý výkon, než gelové akumulátory.

Gelové akumulátory mají elektrolyt ve formě hustého gelu a mají také své výhody. Jednou z nich je asi o 10% delší životnost než AGM akumulátory, protože jsou schopné lépe čelit hlubokému vybíjení a v případě odstávky ztrácejí o něco málo pomaleji svoji kapacitu než akumulátory typu AGM.

2.2.2 Lithium-železo-fosfátové akumulátory

Jsou relativní novinkou s výbornými vlastnostmi pro využití v ostrovním systému. Mezi jejich hlavní přednosti patří především schopnost dodat vyšší proud a to, že při extrémních podmínkách nevybuchují. Tyto akumulátory netrpí paměťovým efektem, takže je možnost je nabíjet v jakémkoliv stavu vybití, další výhodou je absence samovybití.

Nominální napětí LiFePO₄ článků je 3,2 V (3,0 až 3,3 V), maximální nabíjecí napětí je 4,2 V. Minimální napětí na které je článek ještě možné vybit je 2,5 V. Pro prodloužení životnosti, je dobré se pohybovat okolo 2,7 V. Některé akumulátory jsou schopny dodat pracovní proud impulsně až 10C (tj. 10x kapacita). Jejich životnost je udávána více než 2000 cyklů.

S ohledem na velmi nízkou teplotní závislost na kapacitě je lze použít v rozmezí -45 °C až +85 °C. Na rozdíl od olověných akumulátorů jsou mnohem lehčí a nejsou toxické. Při provozování je nutné použít monitorovací a sledovací systém. Tento systém kontroluje a zaznamenává stav jednotlivých článků nebo baterií.

Před prvním použitím je nutné nabít tyto akumulátory na plnou kapacitu i přes to, že jsou z výroby částečně nabité. První nabíjení (inicializační) by mělo být provedeno maximálně proudem 1C. Kapacita v prvních cyklech postupně roste až na 110 %. Dále se doporučuje vyhnout se prudkému vybíjení až na minimální kapacitu a následně rychle nabíjení v prvních šesti cyklech. Po prvních šesti cyklech je zapotřebí, pro srovnání napětí na jednotlivých člancích, provést inicializační nabíjení.

Porovnání:

| | Olověný | Lithiový |
|---------------------|------------|--------------|
| Doba nabíjení | min 10h | min. 2h |
| Max. vybíjecí proud | 8A | 100A |
| Hustota energie | 30-50Wh/kg | 90-120 Wh/kg |
| Počet cyklů | max. 700 | min. 2000 |

Tab. 2.1 Nejdůležitější rozdíly mezi Olověným a Lithiovým akumulátorem

V tabulce 2.1 jsou uvedeny nejdůležitější rozdíly mezi olověnými a lithiovými akumulátory. Za zvlášť významný rozdíl považují hlavně možnost krátkodobého nabíjení a počet nabíjecích cyklů lithiových akumulátorů, nutno ovšem dodat že za téměř dvojnásobnou cenu oproti akumulátorům olověným.

2.3 Regulátory nabíjení

Regulátory nabíjení neboli MPPT měniče, mají vestavěný vysokofrekvenční DC-DC měnič, který změní vstupní stejnosměrné napětí o určité velikosti na vysokofrekvenční střídavé napětí, toto napětí se transformuje a opět změní na stejnosměrné napětí, ale s jinou velikostí než vstupní (při čemž se mění i hodnota proudu). Lze tedy napětí, které dodávají fotovoltaické panely, transformovat na napětí pro napájení akumulátorů a zároveň s tím zvýšit hodnotu nabíjecího proudu. MPPT regulátor vlastně provádí optimalizaci napětí a proudu, kterým je nabíjen akumulátor tak, aby byl využit „Maximum Power Point“, čili bod na VA charakteristice s maximálním dosažitelným výkonem.

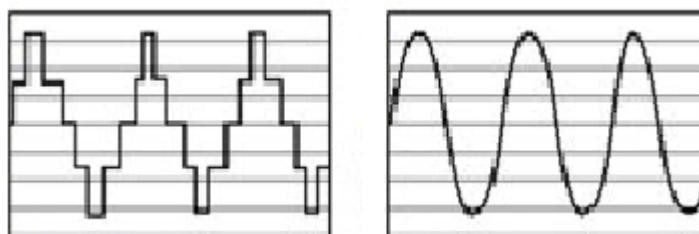
Zcela zásadní výhodou kvalitního MPPT měniče je možnost využití solárních panelů s napětím třeba i 150V (sériově spojené solární panely) s tím, že MPPT měnič je schopný i při daleko vyšších napětích, než je napětí připojených akumulátorů, velmi efektivně zpracovat výkon z těchto panelů, aniž by docházelo k vyšším ztrátám v systému. Pokud použijeme kvalitní MPPT regulátor, můžeme fotovoltaické panely zapojit sériově, paralelně, či sérioparalelně na jakékoli napětí, které je schopen zpracovat MPPT měnič (např. v rozsahu 12V až 150V). V nastavení MPPT měniče, pak pouze zvolíme požadované systémové napětí, třeba 12V, 24V, nebo 48V (nebo necháme zvolit automaticky) a MPPT měnič bude optimalizovat výkon, který poskytnou solární panely pro nastavené systémové napětí.

2.4 Měniče napětí (střídače)

Měnič napětí je důležitým prvkem ostrovního systému. Jeho úkolem je přeměnit stejnosměrné nízké napětí z akumulátorů na střídavé napětí o velikosti 230V pro napájení běžných síťových spotřebičů. Měniče napětí se podle tvaru výstupního napětí dělí na měniče s modifikovanou sinusovkou (trapézové měniče) a sinusové měniče. Přeměna stejnosměrného proudu na střídavý se provádí výkonovými tranzistory, s jejichž pomocí se proud až 20 000x za sekundu zapíná a vypíná. Tento „rozsekaný“ stejnosměrný proud se pak pomocí transformátorů přemění na požadované vyšší výstupní napětí. To se využívá pro napájení běžných síťových spotřebičů.

Měniče s modifikovaným sinusovým průběhem mají na výstupu napětí, které nemá zcela hladký průběh. Křivka (sinusoida) výstupního napětí tedy není hladká, ale trochu "kostrbatá". Naprosté většině spotřebičů takto vytvořený průběh výstupního napětí nečiní potíže, nicméně pokud chcete pomocí měniče napájet citlivé elektronické přístroje, měřicí přístroje, lékařské

přístroje apod. doporučuje se jednoznačně použití měniče s **čistě sinusovým průběhem**, kde je průběh výstupního napětí téměř "hladký". Např. u oběhových čerpadel připojených k měničům napětí s modifikovanou sinusovkou dochází obvykle při provozu k lehkému chvění, které nemá vliv na životnost čerpadla, navíc nebývá čerpadlo připojeno k měniči zpravidla trvale. Pokud ale chcete eliminovat i slabé chvění čerpadla, je možné samozřejmě použít měnič s čistou sinusovkou. Měniče s čistou sinusovkou, mají zpravidla zhruba 2x až 3x vyšší cenu, než měniče s modifikovanou sinusovkou od stejného výrobce a se stejným výstupním výkonem.



a) b)

Obr. 2.4 Průběh výstupního napětí

- a) Měniče s modifikovaným sinusovým průběhem
- b) Měniče s čistě sinusovým průběhem

U měničů napětí jsou obvykle, co se týče výkonu, uváděny dvě hodnoty, a to trvalý výkon měniče napětí a špičkový výkon měniče napětí. Trvalý výkon měniče napětí je maximální výkon, který je měnič schopen poskytovat nepřetržitě po dobu několika desítek minut, až několika hodin. Z toho důvodu je nutné, aby byl měnič dostatečně dimenzovaný a aby připojený spotřebič měl trvalý příkon max. zhruba na úrovni 1/2 až 2/3 trvalého maximálního výkonu měniče. Špičkový výkon měniče je výkon, který je možné využít po dobu řádově desítek, max. stovek milisekund. Tedy pro velmi krátkou dobu. Špičkový výkon je tedy možné využít pouze při rozběhu některých spotřebičů, u nichž je proudová špička v okamžiku zapnutí velmi krátká, v praxi se jedná především o různé elektronické spotřebiče. V žádném případě nemůžeme počítat se špičkovým výkonem měniče napětí např. pro rozběh motorů, protože tento rozběh trvá **relativně** dlouhou dobu.

2.5 Odpojovače

Odpojovače slouží, jako ochrana proti hlubokému vybití baterie. Odpojí baterii od zátěže předtím, než se baterie zcela vybití (nebezpečí poškození) nebo v případě že baterie klesne na úroveň, kterou jsme nastavili (většinou energie potřebná pro základní potřeby). V případě, že na baterii klesne napětí pod nastavenou hodnotu, výstup alarmu se aktivuje po uplynutí následujících 15 sekund. Podstata časové prodlevy je v tom, že pokud se připojí elektrocentrála, nebude aktivován alarm. Po jedné minutě od spuštění alarmu se odpojí zátěž. Pokud během této minuty napětí baterie vzroste na úroveň „připojovací prahové hodnoty“, zátěž nebude odpojována.

Odpojovač může mít také několik úrovní, případně jich můžeme použít více pro případ, že očekáváme malou dodávku elektrické energie z výroby (nepříznivé počasí). Můžeme umístit např. několik odpojovačů do rozvodnicové skříně na jednotlivé okruhy. Spotřebiče jako je televize nebo notebook vykazují spotřebu i ve vypnutém stavu, někdy jde spíše o klidový režim. Také se může stát, že jsme mimo dům, přičemž některý spotřebič zůstal spuštěný. Pak je tedy vhodné použít odpojovače řízené na dálku a podle potřeby jednotlivé okruhy vypínat.

U moderních regulátorů nabíjení a nabíječek akumulátorů není již nutné používat odpojovače, neboť mají zabudovány různé ochrany baterií proti nežádoucím stavům nabíjení nebo vybíjení. Vhodné jsou ve zmíněném případě, kdy chceme řídit které okruhy budou vypnuty a které zůstanou v provozu.

2.6 Vzdálená kontrola a ovládání

Je možné zajistit pomocí softwaru (např.: eTracer, Victron), umožňující pomocí GSM/GPRS/LAN modemu vzdálené ovládání a kontrolu měničů, zdrojů odpojovačů nebo umožňuje vzdáleně sledovat stav baterií pomocí sledovače. Systém umožňuje přijímání automatických alarmových hlášení a varování i běžného sledování systému pomocí krátkých textových zpráv (SMS). Dále je zde možnost on-line číselného i vizuálně dokonalého grafického sledování (monitoringu) aktuálních i historických stavů pomocí PC kdekoli, kde je přístup k internetu. Velkou výhodou je nejen sledování, ale i možnost vzdáleného softwarového nastavování zařízení.

3. Analýza spotřeby

3.1 Specifikace napájeného domu

Specifikace se týká stavu elektroinstalace rodinného domu pro potřeby bakalářské práce. Obsahem celé dokumentace je i soubor výkresů silnoproudých rozvodů umístěných v příloze. Specifikace ve svém obsahu zahrnuje všechny základní informace. Napájení bude provedeno pomocí malé fotovoltaické a větrné elektrárny a bude řešeno v kapitole 5. Analýza zdrojové části.

Druh rozvodné sítě a napěťová soustava:

TN-C-S 3 + PEN; 3 + PE + N 230 V, 50 Hz

Ochrana před nebezpečným dotykovým napětím dle ČSN 34 2000-4-41 ed.2:

Normální samočinným odpojením od zdroje (čl. 411.1)

Doplňková: proudovým chráničem (čl. 415.2)

pospojováním (čl. 415.1)

Ochrana proti zkratu, přetížení a nebezpečnému dotykovému napětí je zajištěna pojistkami, jističi a proudovými chrániči.

Instalovaný výkon.

Dle ČSN 33 2130 ed. 2 je max. instalovaný výkon pro světelné a zásuvkové okruhy logicky určen velikostí jističe (předpokládaný účinník je 0,95). Pro samostatné spotřebiče bude uvažován jejich výkon udávaný výrobcem:

| | |
|----------------------------|---------|
| 1. Zásuvkový obvod | 3,5 kW |
| 2. Zásuvkový obvod | 2,2 kW |
| 1. Světelný obvod | 1,3kW |
| 2. Světelný obvod | 1,3kW |
| Obvod pro lednici | 0,08kW |
| Obvod pro pračku | 1,85 kW |
| Obvod pro ak. ohřívač vody | 2,2kW |

Celkový instalovaný výkon by potom byl 12,43 kW. Jelikož potřebuji znát skutečnou průměrnou spotřebu, protože v rámci ostrovního systému není vhodné vyrábět nadbytek energie, provedl jsem měření spotřeby, které bude popsáno v dalších oddílech.

Provedení rozvodnicové skříně

Je v plechovém provedení, vybavena PE a N svorkovnicí na maximální průřez 25 mm² s 10 vývody pro soustavu TN-S, osazena jističi typu B a opatřena izolačními průchodkami pro kabeláž. Pro možnost odpojení jednotlivých okruhů na dálku bude vybavena odpojovači jednotlivých okruhů. Původní třífázový hlavní jistič se nahrazuje jističem jednofázovým.

Umělé osvětlení a vnitřní silnoproudé rozvody

Z rozvodnice jsou napájeny všechny světelné a zásuvkové obvody i ostatní obvody specifických el. spotřebičů. Všechny tyto rozvody jsou provedeny v soustavě TN-S a to kabely CYKY ve stěnách a stropech pod omítkou. Ve všech prostorách se použijí zapuštěné krabicové rozvodky, spínače a zásuvky.

Světelné obvody jsou provedeny kabely CYKY, s příslušným počtem vodičů 1,5 mm² taženými pod omítkou ve stěnách a stropech. Vývody pro svítidla jsou umístěny v souladu s výkresovou dokumentací. Je použito převážně zářivkového osvětlení s úspornými kompaktními zářivkami teple bílé barvy. Instalaci těchto svítidel je zaručena úspora el. energie. Spínače a ovladače ke svítidlům jsou umístěny ve výši 110 cm nad podlahou.

Zásuvkové obvody 230 V jsou provedeny kabely CYKY 3Cx2,5 mm² taženými pod omítkou ve stěnách. Zásuvky jsou umístěny převážně ve výši 20 cm nad podlahou. Zásuvky nad kuchyňskou linkou jsou ve výši 125 cm nad podlahou a zásuvky pro elektrickou pračku a ledničku jsou v místě spotřebiče a to ve výši 60 cm nad podlahou. Všechny zásuvky u kuchyňské linky jsou v zapuštěném provedení, v krytí IP 44. Současně jsou zásuvkové obvody chráněny proudovým chráničem.

Jednofázové elektrické obvody spotřebičů s vyšším příkonem (elektrický akumulární ohřívač vody nebo elektrická pračka) jsou provedeny jako samostatné zásuvkové obvody a to kabely CYKY 3Cx2,5 mm² taženými pod omítkou.

3.2 Naměřená průměrná spotřeba

Spotřebu elektrické energie jednotlivých spotřebičů jsem určil měřicími přístroji spotřeby ENERGY LOGGER 4000F, zapůjčeným z VŠB-TU Ostrava.

Evidenční čísla: EL F 0214A 23677 022014

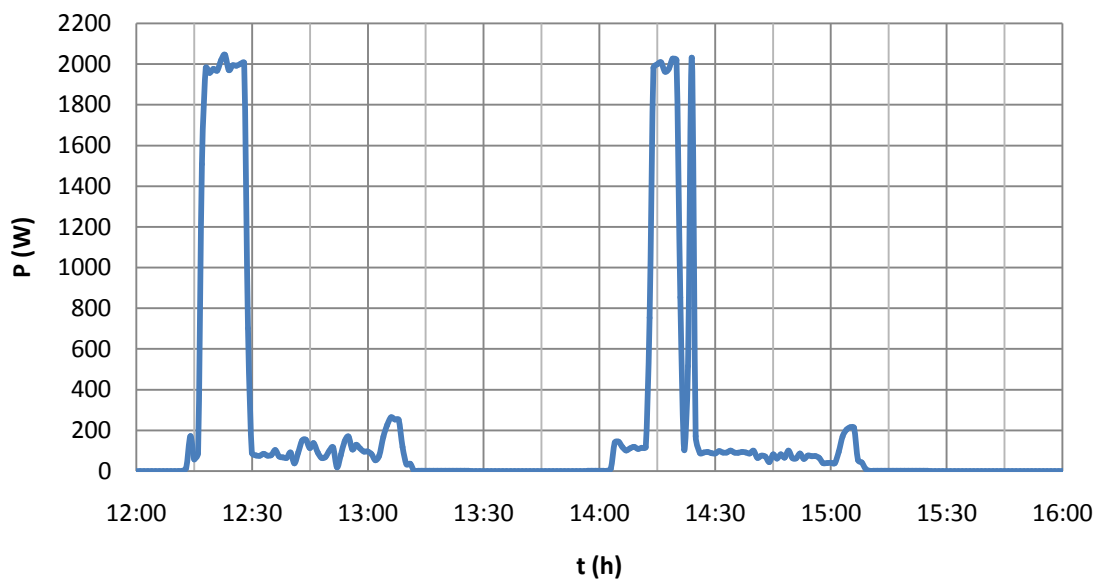
EL F 1013A 21263 102013

EL F 0214A 24092 022014

Naměřená data jsem pomocí SD karty přenesl do PC. Pomocí softwaru Energy Logger Viewer jsem data převedl do formátu CSV kompatibilního s Microsoft Office Excel 2007, kde jsem data pro účely práce dále zpracoval. Uvažoval jsem přístroje užívané běžně a pravidelně dle zvyklostí všech členů rodiny.

Automatická pračka:

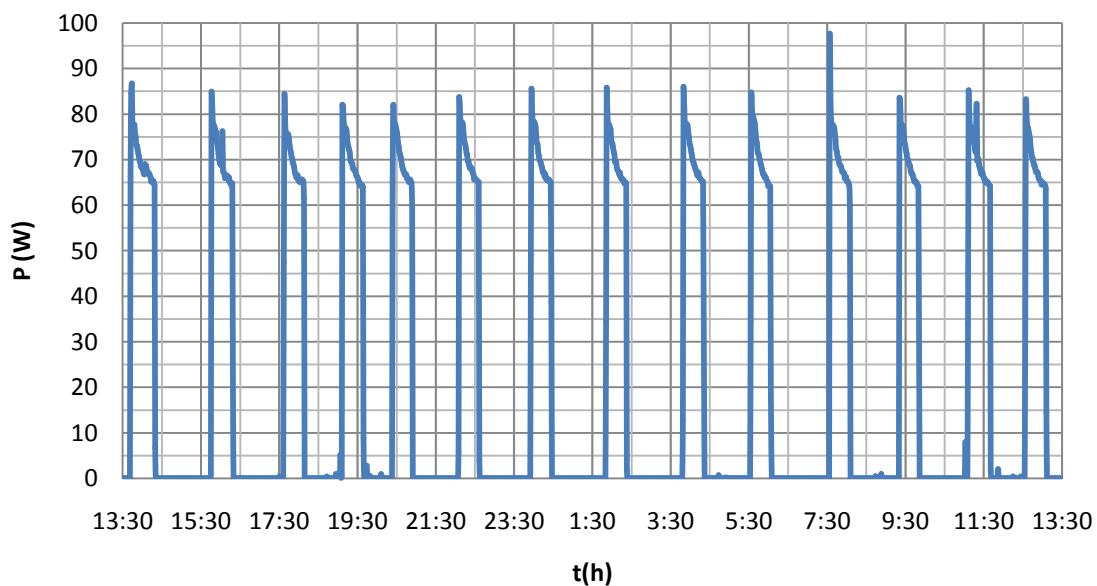
Typ: Whirlpool A+++ AWO/C 6304, 6kg, 2300W, zaznamenány dva prací cykly.



Obr. 3.1 Průběh výkonu automatické pračky

Kombinovaná chladnička:

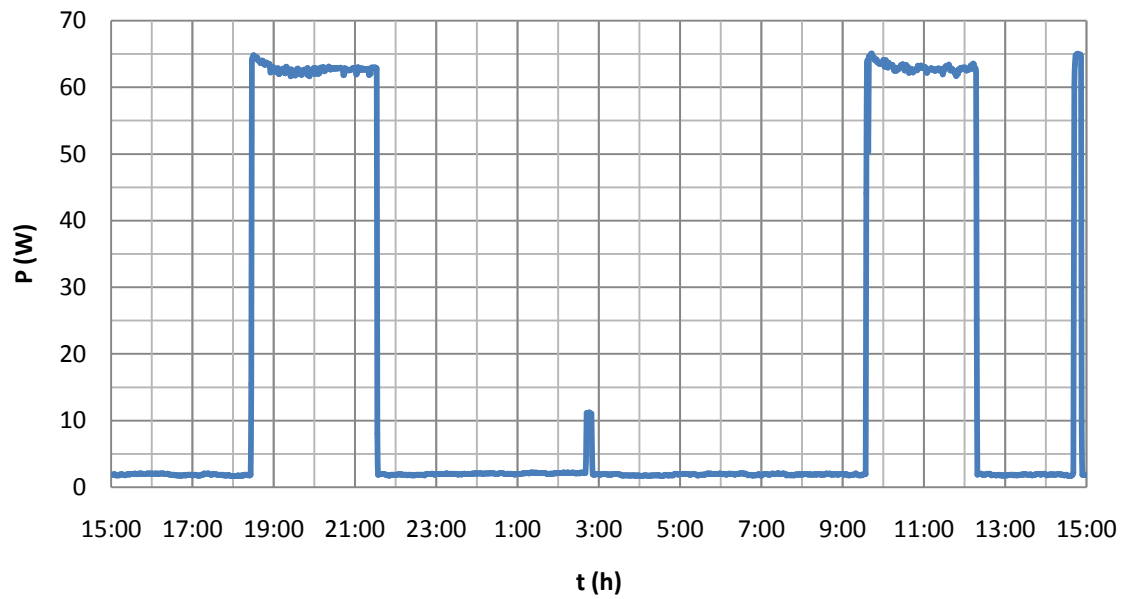
Typ: Gorenje A++ 304l Model RK61620W



Obr. 3.2 Průběh výkonu kombinované chladničky

Televize:

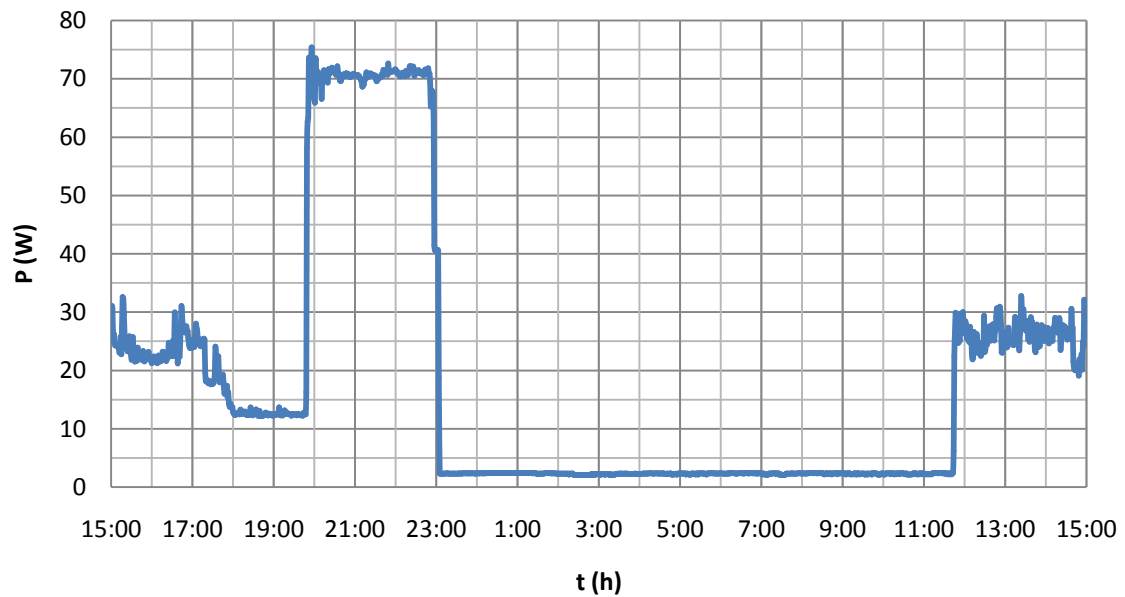
Typ: GoGen TVL 39167 DLCRR 99cm



Obr. 3.3 Průběh výkonu televize

Notebook č. 1 :

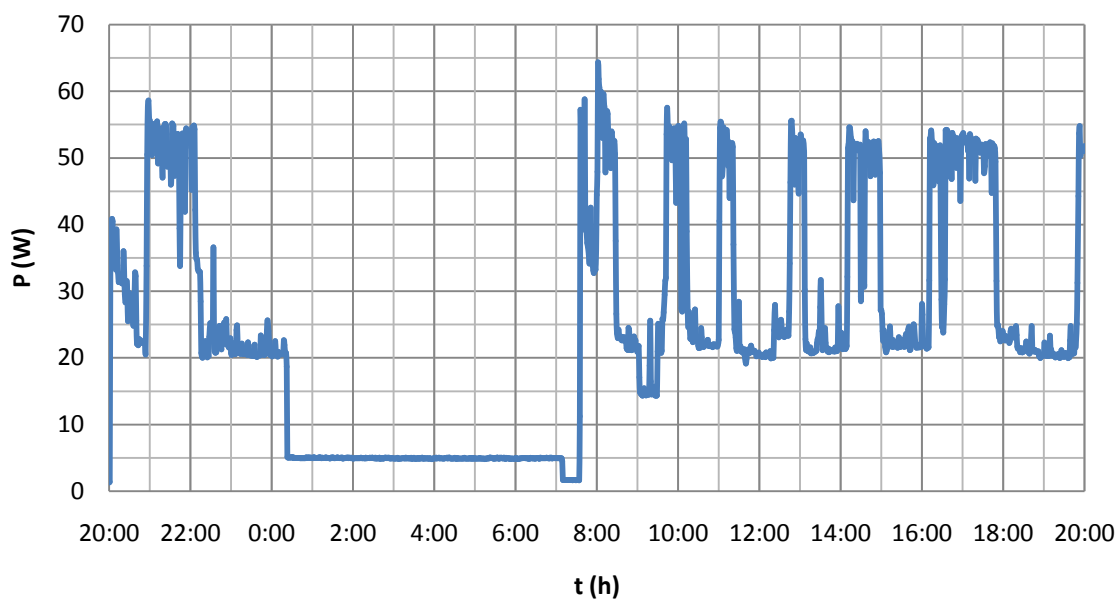
Typ: Asus Traveler



Obr. 3.4 Průběh výkonu notebooku č. 1

Notebook č. 2 :

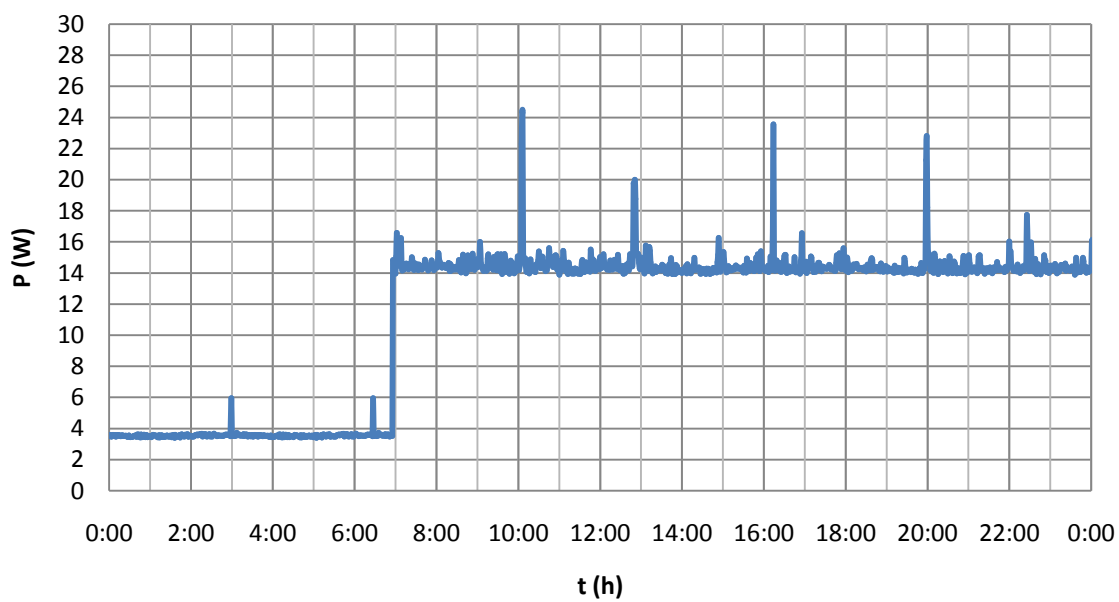
Typ: HP 650



Obr. 3.5 Průběh výkonu notebooku č. 2

Notebook č. 3 :

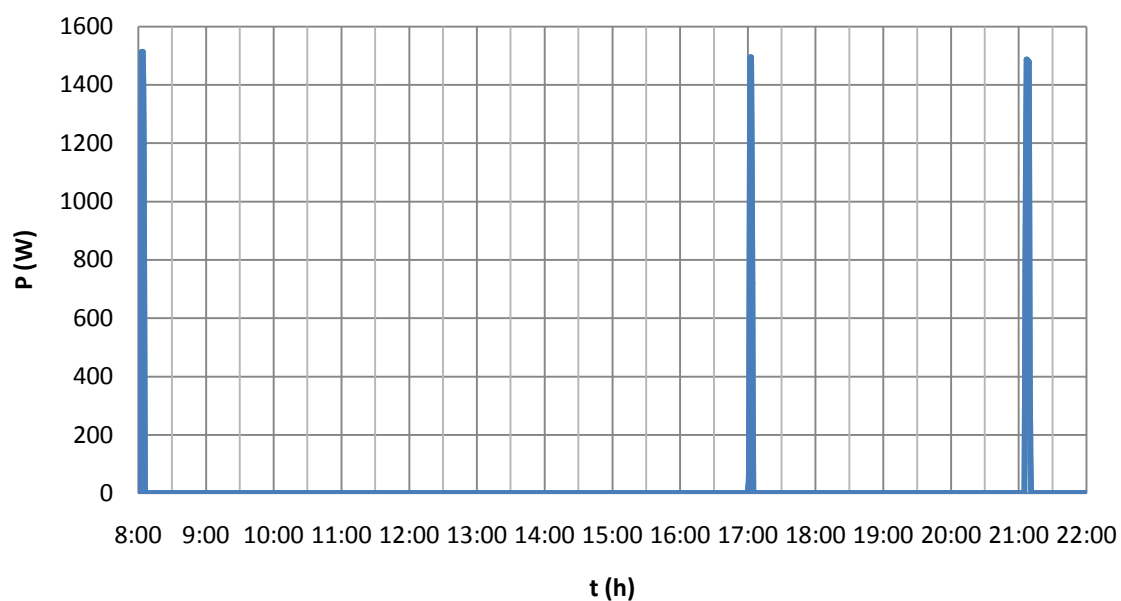
Typ: Lenovo G580



Obr. 3.6 Průběh výkonu notebooku č. 3

Rychlovarná konvice:

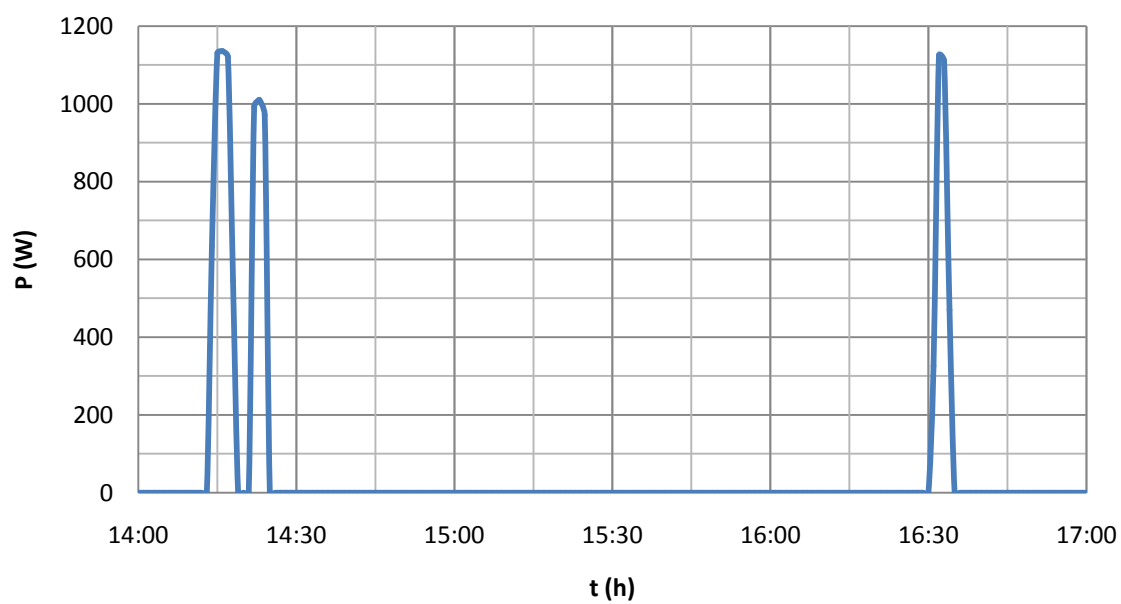
Typ: ECG RK 1040, 1500W



Obr. 3.7 Průběh výkonu rychlovarné konvice

Mikrovlnná trouba:

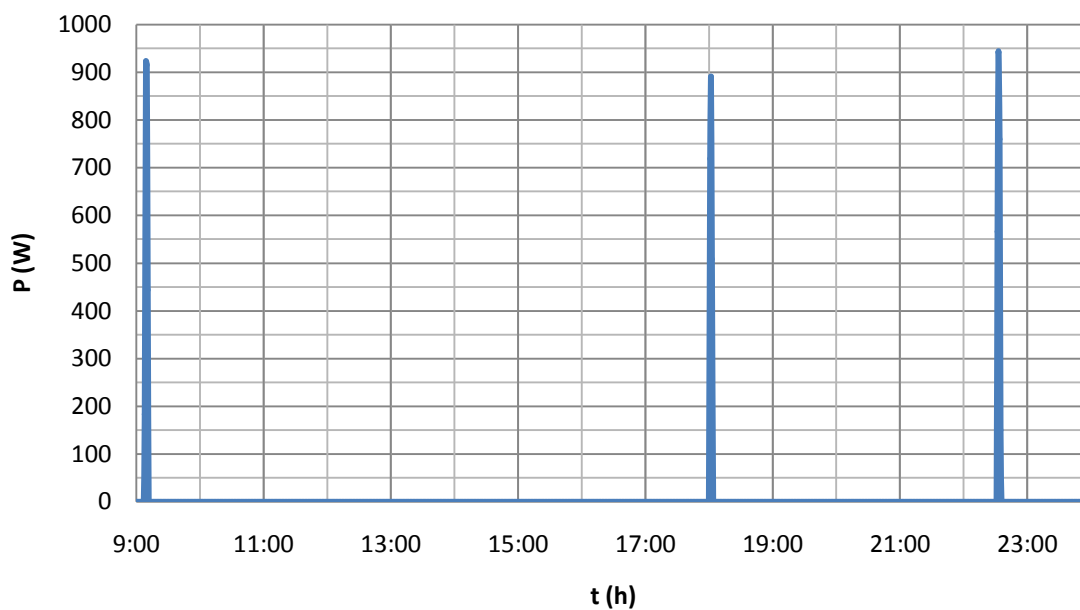
Typ: GODDES GODMOM717, 1150W



Obr. 3.8 Průběh výkonu mikrovlnné trouby

Kávovar:

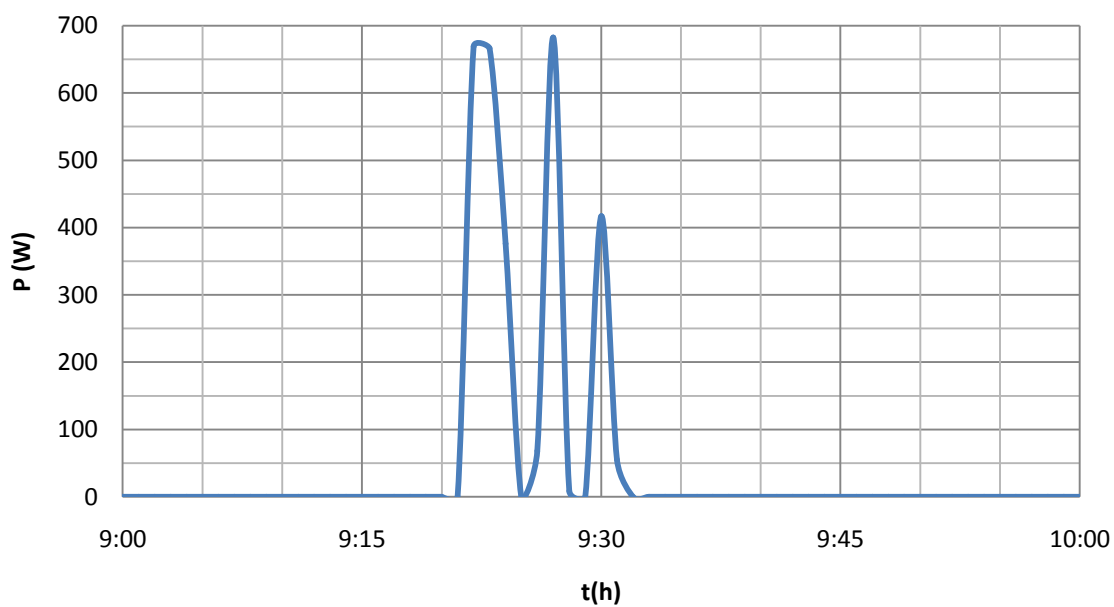
Typ: Severin TYP 4156, 1000W



Obr. 3.9 Průběh výkonu kávovaru

Toustovač:

Typ: Sencor SSM 3100, 700W



Obr. 3.10 Průběh výkonu toustovače

Denní spotřeba:

Je třeba stanovit spotřebu světelných okruhů. Statisticky se udává, že každé světlo svítí v průměru 3h denně. Uvážím-li použití úsporných zářivek K-Classic 1160lm s příkonem 23W je spotřeba jedné takové zářivky 0,069 kWh denně. V domě je použito celkem 17 takovýchto světel. Je zřejmé, že v zimních měsících bude doba svícení delší, ovšem celkový počet světel obsahuje i světla z terasy či skladu a samotný počet světel naznačuje, že zcela jistě nebudou svítit všechna naráz. Budu tedy předpokládat, že energie vypočtená pro použití 17-ti světel po dobu tří hodin bude dostatečnou rezervou pro světelné obvody během celého roku.

| | |
|------------------------|-----------|
| Pračka | 0,871 kWh |
| Kombinovaná chladnička | 0,53 kWh |
| Televize | 0,412 kWh |
| Notebook Asus traveler | 0,508 kWh |
| Notebook HP 650 | 0,536 kWh |
| Notebook Lenovo G580 | 0,355 kWh |
| Rychlovarná konvice | 0,241 kWh |
| Mikrovlonná trouba | 0,18 kWh |
| Kávovar | 0,12 kWh |
| Toustovač | 0,05 kWh |
| Světelné obvody | 1,17 kWh |

Spotřeba akumulčního ohříváče jakožto odporového spotřebiče velkého příkonu (2,2kW) s chodem 4 až 6 hodin je problematickým faktorem. Z ekonomického, rozměrového (velikost FVE se podstatně sníží) i logického hlediska práce, akumulční ohříváč vody nahradím vhodnými alternativním systémem pro ohřev vody, jehož cenu zahrnu co celkových nákladů na ostrovní systém.

Celková denní spotřeba činní:

$$A_{denní} = 0,871 + 0,53 + 0,412 + 0,508 + 0,536 + 0,355 + 0,214 + 0,18 + 0,12 + 0,05 + 1,17 \\ = 5kWh \approx \mathbf{5,25kWh}$$

Vypočtený výkon jsem přiměřeně zvýšil vzhledem ke stárnutí akumulátorů.

3.3 Ztráty v ostrovním systému

Každé elektrické zařízení je ztrátové, pro úspěšný návrh akumulátorovny FVE je nutné počítat se ztrátami ve všech dílčích částech ostrovního systému. Dosáhne se tak dodávky požadované energie.

Ztráty v MPPT měniči

Účinnost MPPT měniče uvádí výrobci až 98%, budu - li uvažovat střídmeji s 95%, potom spotřeba se ztrátami na měniči je:

$$A_{MPPT} = \frac{A_{denní}}{\eta_{MPPT}} = \frac{5,25}{0,95} = 5,53kWh$$

Ztráty akumulací el. energie

Ztráty při nabíjení akumulátorů se pohybují okolo 10%, účinnost je tedy 90%.

$$A_{MPPT+aku} = \frac{A_{MPPT}}{\eta_{ak}} = \frac{5,53}{0,90} = 6,14kWh$$

Ztráty v měniči napětí

Účinnost měniče napětí uvádí výrobci 94%, potom spotřeba se ztrátami na měniči je:

$$A_{MPPT+aku+měň} = \frac{A_{MPPT+aku}}{\eta_{mě}} = \frac{6,14}{0,94} = 6,53kWh$$

Ztráty v elektroinstalaci

Jsou ztráty v kabelech a ztráty přechodových odporů v konektorech a svorkách, také je nelze zanedbat. Výše ztrát je závislá na délce a průřezu připojovacích kabelů. Tyto ztráty jsou v rozmezí 2 – 4 %, budu – li uvažovat opotřeбенý stav elektroinstalace 4%, účinnost tedy bude 96%.

$$A_{celk} = \frac{A_{MPPT+aku+měň}}{\eta_{inst}} = \frac{6,53}{0,96} = 6,8kWh$$

4. Návrh části akumulace

Návrh akumulační části je pro ostrovní systém velmi důležitý, jelikož její pořizovací náklady jsou velmi vysoké, zejména akumulátorů. Kapacita akumulátorů se dimenzuje na určitý počet dní, já osobně volím 3 dny, které vnímám jako hraniční dobu vzhledem k výdrži a celkové ceně. Další důležitou součástí akumulační části je MPPT měnič (regulátor), poslední částí je pak napěťový měnič upravující napětí pro spotřebiče.

4.1 Návrh akumulátorů

Vybral jsem lithium-železo-fosfátové akumulátory kvůli jejich lepším vlastnostem popsaným na předchozích stránkách. Napětí 48 V s využitelnou kapacitou 80%. Pro akumulátorovnu v potřebné velikosti připadají v úvahu dva typy baterií s různou kapacitou i napětím. Pro zvýšení napětí se články poskládají do vhodného sério-paralelního uspořádání, rozhodující bude výsledná cena.

LiFePO4 3,2V 400Ah, cena 17000Kč

Potřebná kapacita při daném napětí:

$$C_B = \frac{A \cdot n}{U_B \cdot 0,8} = \frac{6800 \cdot 3}{3,2 \cdot 0,8} \approx 7970Ah$$

Potřebný počet baterií:

$$n_B = \frac{C_B}{C_{1B}} = \frac{7970}{400} = 19,925 \approx 20$$

Výsledná cena:

$$20 \cdot 17000 = 350000Kč$$

LiFePO4 12V 90Ah, cena 16800Kč

Potřebná kapacita při daném napětí:

$$C_B = \frac{A \cdot n}{U_B \cdot 0,8} = \frac{6800 \cdot 3}{12 \cdot 0,8} = 2125Ah$$

Potřebný počet baterií:

$$n_B = \frac{C_B}{C_{1B}} = \frac{2025}{90} = 23,61 \approx 24$$

Výsledná cena:

$$24 \cdot 16800 = 403200Kč$$

Z tohoto jednoduchého porovnání vyplívá, že výhodnější bude použít akumulátory s napětím 3,2 V a kapacitou 400 Ah. Pro akumulátory bude třeba přestavba části kotelny na akumulátorovnu, náklady na přestavbu zahrnu do celkových nákladů na ostrovní systém.

| Model | LFP400AHA |
|-----------------------------------|---|
| Jmenovité napětí naprázdno | 3,2V |
| Pracovní napětí | 2,8-4,0V |
| Minimální napětí | 2,5V překročení způsobí nevratné poškození |
| Maximální napětí | 4,2V překročení způsobí nevratné poškození |
| Kapacita | 400Ah |
| Životnost | 5000 cyklů (někteří prodejci uvádí až 8000) |
| Optimální vybíjecí proud | 200A |
| Maximální vybíjecí proud | 1200A (maximálně 15 minut) |
| Maximální špičkový vybíjecí proud | 8000A (maximálně 5s v 1 minutě) |
| Optimální nabíjecí proud | 200 A |
| Maximální nabíjecí proud | 1200 A (při kontrole teploty) |
| Maximální pracovní teplota | 80 °C |
| Rozměry | 285x461x65 mm |
| Hmotnost | 13,7 kg |
| Cena | 17000Kč |

Tab. 4.1 Vlastnosti vybraného akumulátoru



Obr. 4.1 Akumulátor LiFePo4 LFP400AHA

4.2 Návrh MPPT měniče

Vhodná volba je důležitá především pro životnost akumulátorů, aby nedocházelo k hlubokému vybíjení nebo naopak přebíjení. U moderních MPPT měničů, lze tuto problematiku jednoduše vyřešit softwarovým nastavením, tak aby nabíjení probíhalo efektivně a zachovávalo tak co nejdelší životnost akumulátoru. Důležitá je tak volba výkonu, nabíjecího proudu a napětí na vstupu.

V úvahu připadají MPPT měniče Epsolar řady Tracer s nízkou cenou a napětím 12/24V, ovšem výkonem maximálně cca 1kW. Jelikož mám v plánu použít baterie s napětím 48V, s ohledem na cenu a výkon použiji MPPT měnič East Power s režimem 24/48Va výkonem panelů až 6 kWp. Ten dokonce nabízí možnost výkonového rozšíření.

| Model | East Power GSC-F2448-60M |
|----------------------------|--------------------------|
| Jmenovitý výkon | 3 kW |
| Jmenovitý nabíjecí proud | až 60A |
| Pracovní napětí baterií | 24/48V |
| Pracovní napětí panelů | 58-72V |
| Účinnost při plné zátěži | 48V: ≤98 % |
| Pracovní teplota | -35÷65 °C |
| Teplotní kompenzace | -3mV/°C/2V |
| Vlastní spotřeba | ≤20mA |
| Pokles napětí během funkce | ≤0,2V |
| Rozměry | 164x168x55 mm |
| Cena | 6600 Kč |

Tab. 4.2 Vlastnosti vybraného MPPT měniče



Obr. 4.2 MPPT měnič East Power GSC-F2448-60M

4.3 Návrh napěťového měniče

Při volbě napěťového měniče (střídače) je třeba si uvědomit, že není třeba, aby byl schopen vydat naakumulovanou energii potřebnou pro 3 denní provoz naráz. Na druhou stranu jakýkoliv točivý stroj má takzvaný rozběhový proud, který je roven několikanásobku (až 10-ti) jmenovitého. Střídač tedy musí být schopen tento proud propustit, byť na krátký okamžik a to i za předpokladu že jsou v provozu jiné stroje či přístroje, které také odebírají proud.

Nejvhodnější volbou se jeví měniče o výkonu cca 3kW s co nejvyšším možným maximálním výkonem, tomu vyhovuje měnič společnosti Victron Phoenix Inverter 48/3000.

| Model | Phoenix Inverter 48/3000 |
|--------------------------|--------------------------------|
| Výkon | 2500W při 25 °C 2200W při 40°C |
| Špičkový výkon | 6000W |
| Vstupní napětí | 48V |
| Výstupní napětí | 230V |
| Výkon při nulové zátěži | 16W |
| Účinnost při plné zátěži | 95 % |
| Pracovní teplota | -40÷50 °C |
| Vzdálené vypnutí/zapnutí | Ano |
| Rozměry | 362x258x218 mm |
| Hmotnost | 18 kg |
| Cena | 44000 Kč |

Tab. 4.3 Vlastnosti vybraného měniče



Obr. 4.3 Střídač Phoenix Inverter 48/3000

5. Návrh zdrojové části

Při návrhu zdrojové části budu uvažovat jako primární zdroj elektrické energie FVE. Protože výroba je závislá na intenzitě slunečního záření, která je proměnlivá během celého roku je vhodné volit takový počet solárních panelů, který pokryje žádanou spotřebu i v méně produktivních měsících jako je březen nebo říjen. I tak bude s největší pravděpodobností systém v letních měsících značně předdimenzovaný. Z toho vyplývá, že dimenzovat systém na zimní měsíce by bylo značně neekonomické. Jako sekundární zdroj použiji elektrocentrálu se samospouští, která bude dodávat zbylý požadovaný výkon.

5.1 Návrh FVE

Určení výkonu dodaného solárním panelem je možné z průměrné doby slunečního záření v jednotlivých měsících, efektivity solárního panelu, a průměrné intenzity slunečního záření dopadajícího na území ČR. Je jasné, že takový vypočtený výkon bude značně nepřesný a zkreslený, pro návrh, ve kterém je třeba dosáhnout optimálního výkonu během celého roku, tedy nepoužitelný. Lepším řešením bude využít softwaru Photovoltaic Geographical Information System s databází ohledně slunečního záření v konkrétních měsících, ve kterém lze nastavit parametry panelu (výkon, sklon, efektivita) a oblast umístění, v mém případě volím Olomouc. Výstupem je tabulka 5.1 s průměrným výkonem solárního panelu. Vzhledem k podmínkám v ČR je vhodné volit panely s určitým výkonem i při menších intenzitách slunečního záření, tedy panely polykrystalické. Vzhledem k ceně a výkonu volím solární panely Shutten solar poly STP6-300/72.

| Měsíc | Denní výroba energie (kWh) | Měsíční výroba energie (kWh) |
|----------|----------------------------|------------------------------|
| Leden | 0,27 | 7,95 |
| Únor | 0,47 | 13,2 |
| Březen | 0,85 | 26,4 |
| Duben | 1,13 | 34,0 |
| Květen | 1,12 | 34,8 |
| Červen | 1,13 | 33,8 |
| Červenec | 1,12 | 34,7 |
| Srpen | 1,08 | 33,6 |
| Září | 0,89 | 26,7 |
| Říjen | 0,60 | 18,6 |
| Listopad | 0,33 | 9,87 |
| Prosinec | 0,21 | 6,63 |

Tab. 5.1 Průměrný výroba elektrické energie solárního panelu o výkonu 300Wp , oblast Olomouc.

| | |
|-------------------|--------------------|
| Model | STP6-300/72 |
| Špičkový výkon | 300 Wp |
| Maximální napětí | 35,9 V |
| Maximální proud | 8,35 A |
| Napětí na prázdko | 44,5V |
| Zkratový proud | 8,92A |
| Efektivita panelu | 15,46% |
| Tolerance výkonu | ±3% |
| Hmotnost | 24kg |
| Cena | 6800 Kč |

Tab. 5.2 Vlastnosti vybraného solárního panelu



Obr. 5.1 Solární panel Shutten solar poly STP6-300/72

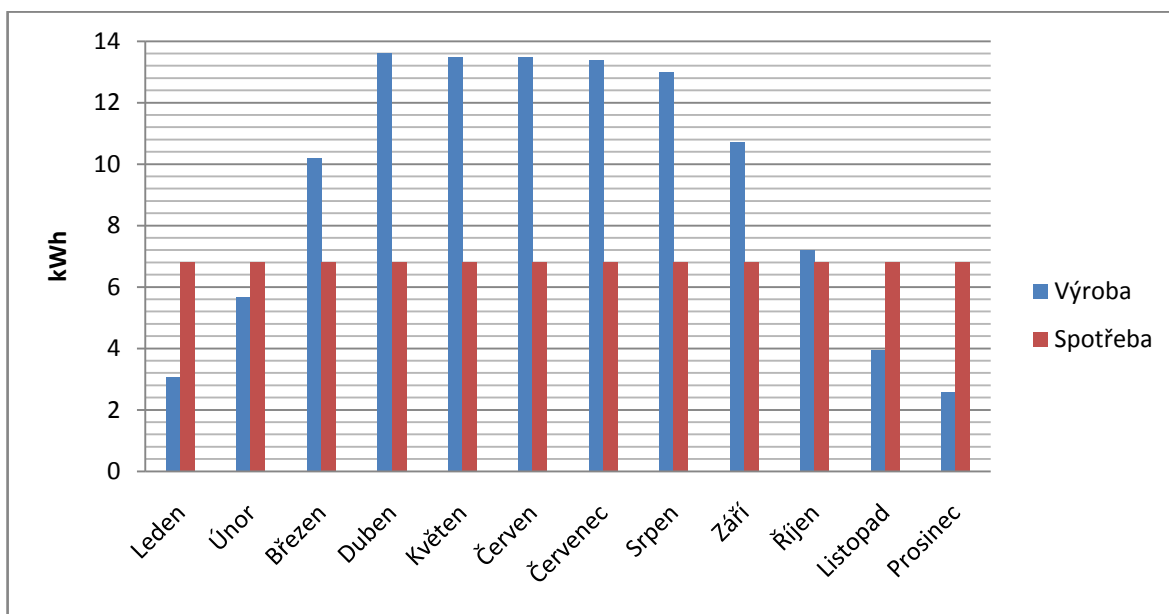
Při použití deseti solárních panelů je průměrná výroba v měsíci březnu dostačující, v říjnu ovšem schází zhruba 0,6 kWh. Obecně lze konstatovat, že výroba energie pomocí elektrocentrály bude mnohem dražší v průběhu let, než pořizovací náklady jednoho, nebo dvou solárních panelů. Celkový počet panelů může být tedy jedenáct, s respektováním sério-paralelního řazení panelů bude konečný počet panelů dvanáct.

| Měsíc | Denní výroba energie (kWh) | Měsíční výroba energie (kWh) |
|----------|----------------------------|------------------------------|
| Leden | 3,08 | 95,4 |
| Únor | 5,67 | 159 |
| Březen | 10,2 | 317 |
| Duben | 13,6 | 408 |
| Květen | 13,5 | 418 |
| Červen | 13,5 | 406 |
| Červenec | 13,4 | 416 |
| Srpen | 13,0 | 403 |
| Září | 10,7 | 321 |
| Říjen | 7,22 | 224 |
| Listopad | 3,95 | 118 |
| Prosinec | 2,57 | 79,5 |

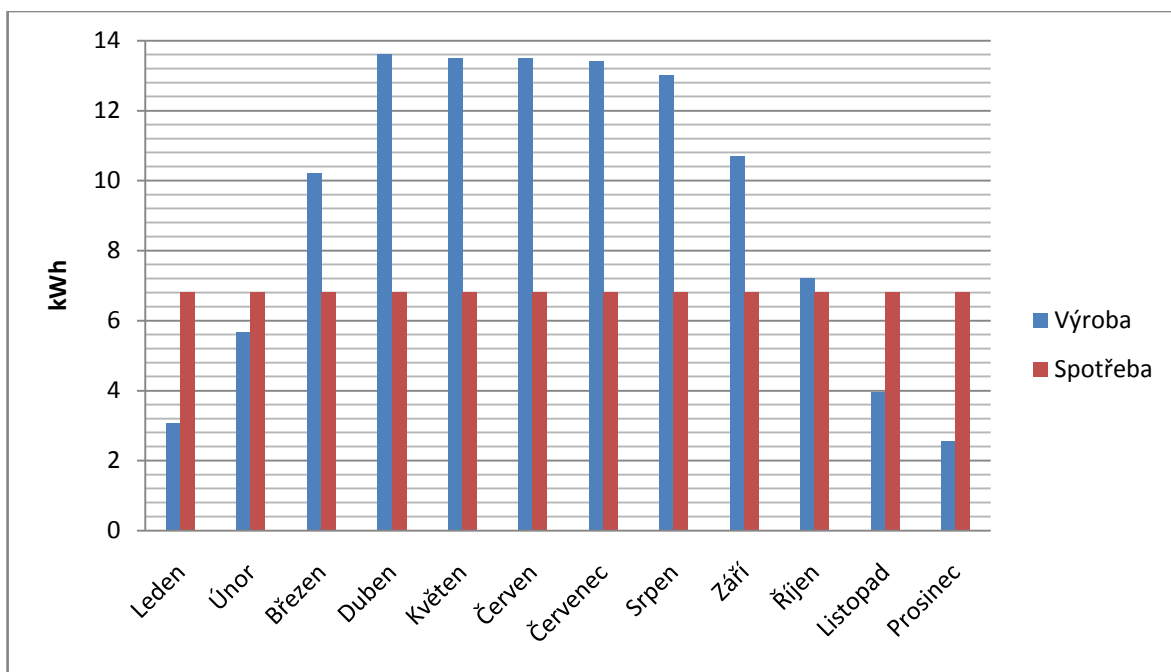
Tab. 5.3 Průměrná výroba elektrické energie 12 solárních panelů o výkonu 3300Wp , oblast Olomouc

5.2 Výroba vzhledem ke spotřebě

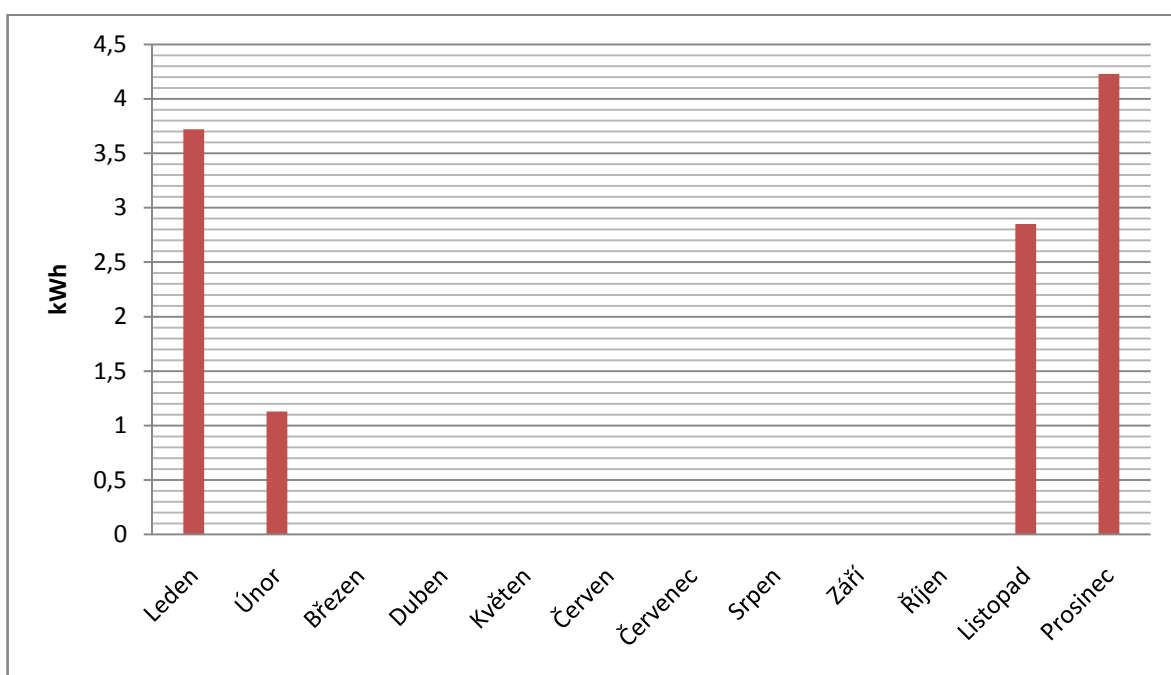
Jak vyplývá z tabulek, v letních měsících bude výroba energie nadbytečná, v zimních měsících naopak nedostačující a bude třeba dodávat energii z elektrocentrály. Po návrhu vhodné elektrocentrály určím přibližnou cenu výroby energie v elektrocentrále. Grafy níže přehledně znázorňují danou problematiku.



Obr. 5.2 Průměrná energie vyrobená FVE za den



Obr. 5.3 Průměrná energie vyrobená FVE za měsíc.



Obr. 5.4 Nedostatek požadované energie spotřeby.

5.3 Návrh elektrocentrály

Prodejci nabízejí opravdu širokou škálu elektrocentrál. Primárním z mých požadavků byl automatický start centrál, kde se škála poněkud rapidně zmenšila. Připojení modulu pro automatický start lze pouze u elektrocentrál s elektrickým startem. Moduly se vyrábějí většinou na zakázku a jejich cena je cca 30 000Kč, přičtu ji tedy k ceně elektrocentrály.

Zásadní pro výběr centrál je tedy adekvátní výkon a cena, vzhledem k tomu jsem zvolil elektrocentrálu značky Heron. Dalším kritériem je průměrná spotřeba, ta je co nejnižší pouze v případě, kdy je možné využít co nejvíce ze jmenovitého výkonu, nevyužitého pro aktuální spotřebu, pro dobítí akumulátorů.

Celková spotřeba za den i se ztrátami činí 6,8kWh. Jeví se tedy jako zbytečné použití elektrocentrály se jmenovitým výkonem 5kW a více, jelikož využití výkonu nebude většinu času dosahovat jmenovité hodnoty a tedy i co nejnižší spotřeby. Vybraná centrála je kompromisem pro možnost použití třífázových spotřebičů.

Výkon pro nabití akumulátorů je třeba usměrnit, snížit hladinu napětí nabíjení akumulátorů. Jako nejjednodušší řešení se nabízí použití akumulátorové nabíječky, tím se zároveň zvýší výkon elektrocentrály, sníží spotřeba a celková doba funkce. Aby se přes nabíječku nenabíjeli akumulátory do plného nabití a využila se všechna energie s FVE zařídí samostatný okruh nabíječky řízený jednotkou automatického startu.

| Model | Heron EGM 65 AVR-3E |
|--------------------|----------------------------|
| Jmenovitý výkon | 6000W/400V; 4000W/230V |
| Maximální výkon | 6500W/400V; 4500W/230V |
| Výstupní proud st | 11A/400V; 17A/230V |
| Výstupní napětí st | 1x400V/2x230 V/50 Hz |
| Výstupní proud ss | 8,3 A |
| Výstupní napětí ss | 12 V |
| Palivo | Benzín |
| Spotřeba paliva | 0,45l/kWh při 75% zatížení |
| Nádrž | 25 l |
| Jistič | Ano |
| Krytí | IP23 |
| Záruka | 3 roky |
| Rozměry | 550x540x680 mm |
| Hmotnost | 98 kg |
| Cena | 61600 Kč |

Tab. 5.4 Vlastnosti vybrané elektrocentrály



Obr. 5.5 Elektrocentrála Honda Heron EGM 65 AVR-3E

Náklady na pokrytí spotřeby elektrocentrálou

Prodejce udává spotřebu elektrocentrály 0,45l/kWh při 75% zatížení, při výpočtu nákladů na spotřebu pro jistotu zaokrouhlím na 0,5l/kWh. V tabulce níže je přehledně uvedena celková potřeba benzínu a náklady na provoz při ceně benzínu 32Kč/l za zimní měsíce.

| | Nedostatek energie (kWh) | Spotřeba benzínu (l) | Náklady na benzín (Kč) |
|---|--------------------------|----------------------|------------------------|
| Leden | 108,6 | 54,3 | 1738 |
| Únor | 31,4 | 15,7 | 503 |
| Listopad | 86 | 43 | 1376 |
| Prosinec | 131,3 | 65,7 | 2103 |
| Celkové roční náklady na provoz elektrocentrály: | | | 5720 |

Tab. 5.5 Náklady na provoz elektrocentrály během roku

6. Celkové náklady na ostrovní systém

Zahrnují náklady na veškeré komponenty ostrovního systému plus alternativu pro ohřev vody, neboť akumulární ohřívač vody by téměř zdvojnásobil požadovanou energii. Alternativou je použití solárního ohřívače vody Dražice, který obsahuje dva výměníky, jeden pro solární kolektory, druhý pro dohřev pomocí kotle na tuhá paliva.

| Součást | Počet kusů | Typ | Cena (Kč) |
|--|------------|--------------------------------|----------------|
| Akumulátory | 20 | LiFePO4 LFP400AHA | 350000 |
| MPPT měnič | 1 | East Power GSC-F2448-60M | 6 600 |
| Napěťový měnič | 1 | Phoenix Inverter 48/3000 | 44 000 |
| Solární panely | 12 | Shutten solar poly STP6-300/72 | 81600 |
| Elektrocentrála | 1 | Heron EGM 65 AVR-3E | 61 800 |
| Nabíječka akumulátorů | 1 | 1,5kW BMS | 9 000 |
| Solární kolektor pro ohřev vody Dražice | 1 | OKC 300 NTRR/SOLAR SET | 25 000 |
| Kabely, konektory | | | 5 000 |
| Montáž a přestavba části kotelny na akumulátorovnu | | | 25 000 |
| Celkem | | | 608 000 |

Tab. 5.1 Náklady na ostrovní systém

7. Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo navrhnout optimální konfiguraci ostrovního systému pro napájení předem známé spotřeby. Během práce jsem narazil na to, že problematika ostrovních systémů není v České republice příliš rozvinutá a zabývá se jí relativně malý počet prodejců a dodavatelů, nabídka některých komponentů tedy nebyla příliš výrazná. Obecně lze ovšem konstatovat že je to obor rozvíjející a dá se očekávat jeho růst. Celá práce je rozdělená do kapitol popisujících její jednotlivé části.

V kapitole 2. jsem popsal základní části ostrovního systému (i systém samotný) a jejich funkce. Porovnal jsem vlastností solárních panelů a akumulátorů pro použití v podmínkách ČR. Dále jsem nastínil výhody použití napěťového měniče s výstupním napětím čistě sinusovým, popsal funkci MTTP měniče jakožto regulátoru nabíjení baterií s velmi vysokou účinností, uvedl možnost použití odpojovačů a seznámil s pohodlností softwarového ovládání.

Kapitola 3. je analýzou uvažované spotřeby, kterou jsem zprvu detailně popsal. Stojí za povšimnutí, že potřebnou stavební úpravou je přestavba kotelny na dvě oddělené místnosti pro vznik akumulátorovny již naznačené do schématu montáž všech komponentů by neměla vyžadovat výraznou stavební úpravu. Co se týče samotné spotřeby, ta je značně ovlivněna účinností všech komponentů. Snížením spotřeby se pochopitelně sníží i ztráty, ale i potřebné množství baterií a panelů. Pro co neekonomičtější využití energie a snížení nákladů by tak bylo vhodné vyřadit téměř veškeré odporové spotřebiče a nahradit je alternativou nevyžadující elektrickou energii a hospodárný využitím energie v čase dostatku i nedostatku. Tím lze snížit celkové náklady na systém i jeho provoz. Obecně bych tedy rád konstatoval, že mnou navržený systém je vhodný především v naznačeném místě. Tam kde není možné připojení k elektrické síti nebo jsou náklady na připojení neúměrně vysoké i tak je vhodné spotřebu snížit.

Návrh části akumulace v kapitole 4. zahrnoval návrh lithium-železo-fosfátových akumulátorů, použil jsem je především kvůli výrazně delší životnosti. Regulátor nabíjení East Power jsem pak zvolil vzhledem k nabíjecímu výkonu 3kW, který při srovnatelné ceně s jinými výrobky 6600Kč byl výrazně vyšší a díky tomu nabízel i možnost výkonového rozšíření systému. Dále jsem zvolil střídač s ohledem na cenu a výkon jsem vybral jeden ze střídačů výrobce Victron, Phoenix Inverter 48/3000. Výkon 2,5kW by měl být dostačující po většinu času, v případech kdy nezareaguje modul automatického startu elektrocentrály.

V kapitole 5. jsem pak navrhl polykrystalické panely Shutten solar poly STP6-300/72 jakožto primární zdroj elektrické energie Polykrystalické panely jsem zvolil především proto, že rozdíl ve výkonu v průběhu roku není tak rapidní a nejsou tolik citlivé na odklon od jihu jako monokrystalické panely. Krom toho nabídly panely i slušnou účinnost 15,46% na tento typ panelu při velkém výkonu na panel. Abych pokryl spotřebu i říjnu a březnu celkový počet panelů jsem stanovil na 11. Jako sekundární zdroj sem pak zvolil centrálu značky Heron a připočetl přibližnou cenu modulu automatického startu, který se většinou vyrábí na zakázku. V poslední kapitole práce jsem shrnul celkové náklady na realizaci mnou navrženého ostrovního systému.

8. Literatura

1. http://feil.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske/STB/4_LU_fotoclanek.pdf
2. <http://www.solarnimoduly.cz>
3. <http://www.menice-napeti.cz>
4. <http://www.ostrovni-elektrarny.cz>
5. <http://www.proelektrotechniky.cz/>
6. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
7. Akumulátory od principu k praxi; M. Cenek, J. Jindra, M. Jon, J. Kazelle, J. Kozumplík, J. Vrba; FCC PUBLIC 2003
8. Solární energie pro váš dům; K. Murtinger, J. Truxa; Computer Press, EkoWATT Brno 2010
9. Obnovitelné zdroje elektrické energie; P. Mastný, J. Drápela, S. Mišák, J. Macháček, M. Ptáček, L. Radil, T. Bartošík, T. Pavelka, ČVUT v Praze 2011

Seznam příloh

| | |
|---|-----|
| Příloha č.1 Přehled použitých značek ve schématech..... | II |
| Příloha č.2 Elektroinstalace 1. podlaží..... | III |
| Obvodové schéma obvodů instalovaných v domě spotřeby | |
| Příloha č.3 Domovní rozvodnice..... | IV |
| Zakreslení skutečného stavu domovní rozvodnice | |

Příloha č.1 Přehled použitých značek ve schématech



Jednofázová zásuvka s ochranným kontaktem



Spínač jednopólový



Spínač dvoupólový



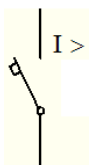
Spínač střídavý



Spínač křížový



Svítidlo (zářivka)



Jistič

Pozn. Velikosti značek jsou pro přehlednost upraveny. Barva značky ve schématu upravena dle barvy daného obvodu, také pro přehlednost.