

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Ostrovní fotovoltaické systémy**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2012/2013

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Milan VACOVSKÝ**  
Osobní číslo: **E10B0089K**  
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Název tématu: **Ostrovní fotovoltaické systémy**  
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Zdůvodněte smysluplnost ostrovních systémů v podmínkách elektrizační soustavy ČR.
2. Uveďte přehled současné technologie (FV panely, měniče DC/AC, akumulátory energie).
3. Navrhněte konkrétní ostrovní systém.
4. Popište ostrovní provoz v dané lokalitě.
5. Změřte energetické parametry daného ostrova, dále pak posuďte ekonomickou náročnost.



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

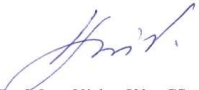
**1. Katalogy výrobců FV panelů a dále dle určení vedoucího práce.**

Vedoucí bakalářské práce: **Prof. Ing. Jan Mühlbacher, CSc.**  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2012**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2013**

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na problematiku ostrovních fotovoltaických systémů, jejich smysluplnost v našich podmínkách, popis a měření konkrétního ostrovního systému.

## **Klíčová slova**

Fotovoltaická elektrárna, fotovoltaický panel, měnič DC/AC, akumulátory.

## **Abstract**

The present thesis is focused on the island of photovoltaic systems, their meaningfulness in our conditions, description and measurement of a particular island system.

## **Key words**

Photovoltaic power, photovoltaic panels, inverters, DC / AC, battery.

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

V Plzni dne 28/5/2013

Milan Vacovský

## Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>SMYSLUPLNOST OSTROVNÍCH SYSTÉMŮ V PODMÍNKÁCH ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY ČR</b>	<b>10</b>
1.1 SLUNEČNÍ ENERGIE .....	10
1.2 SOUČASNÁ SITUACE V ENERGETICE V ČR .....	11
1.3 PODPORA FVE .....	13
1.4 CENA ENERGIE Z FVE .....	13
<b>PŘEHLED SOUČASNÉ TECHNOLOGIE</b> .....	<b>15</b>
1.5 FV PANELY .....	15
1.6 MĚNIČE .....	16
1.7 AKUMULÁTORY .....	17
1.8 PROBLÉMY OSTROVNÍCH SYSTÉMŮ .....	19
<b>NÁVRH OSTROVNÍHO SYSTÉMU</b> .....	<b>25</b>
<b>POPIS OSTROVNÍHO SYSTÉMU</b> .....	<b>29</b>
<b>ENERGETICKÉ PARAMETRY, EKONOMICKÁ NÁROČNOST</b> .....	<b>33</b>
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>35</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>37</b>
<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>38</b>

## **Seznam symbolů a zkratk**

FVE.....	Fotovoltaická elektrárna
TE.....	Tepelná elektrárna
SS.....	Stejnoseměrný proud
STR.....	Střídavý proud



## **Úvod**

Předkládaná práce je zaměřena na ostrovní fotovoltaické systémy v našich podmínkách.

Text je rozdělen do pěti částí; první se zabývá smysluplností ostrovních systémů, druhá uvádí přehled současné technologie, třetí část je popsán návrh konkrétního ostrovního systému. Ve čtvrté části je popsán provoz ostrovního systému, v poslední části jsou uvedeny naměřené energetické hodnoty a ekonomická náročnost celého projektu.

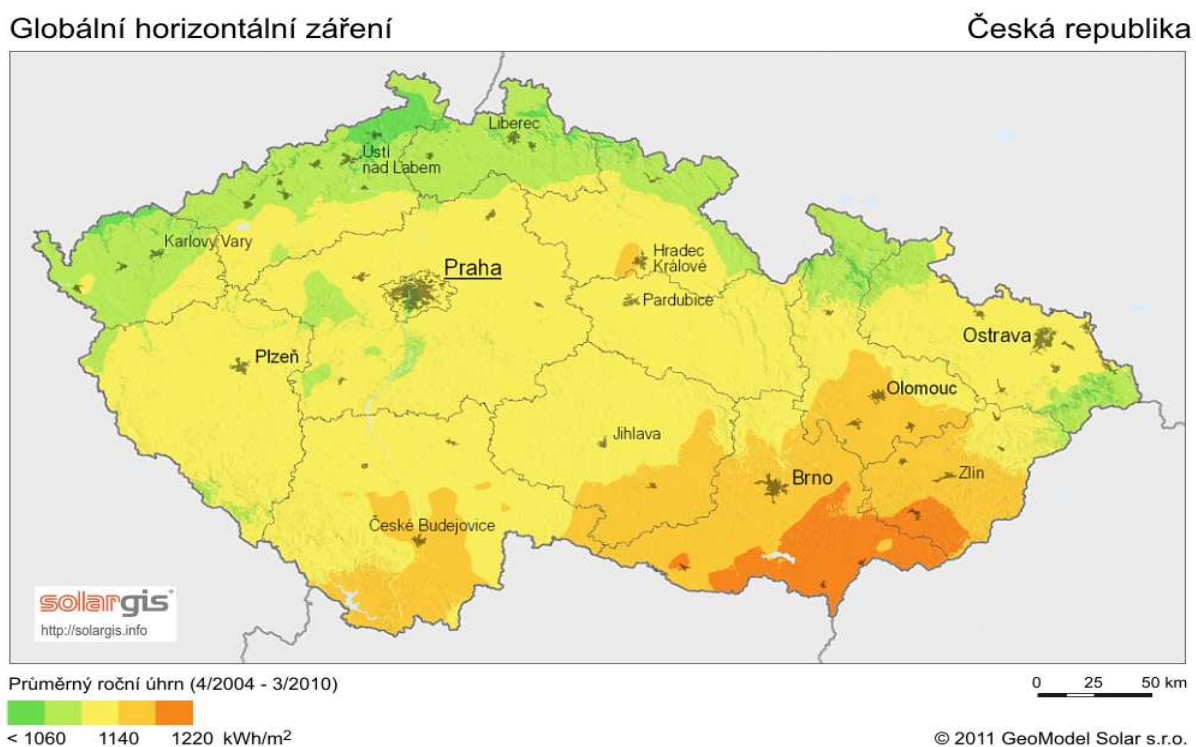
## Smysluplnost ostrovních systémů v podmínkách elektrizační soustavy ČR

Výroba elektřiny ze slunečního záření se od roku 2002 zdvojnásobuje každé dva roky, tempem 48% za rok, čímž se stává nejrychleji se rozvíjející technologií na výrobu energie. Cena fotovoltaických panelů se díky neustálému vývoji technologií a masivní výrobě snižuje. [2]

V současné době je energie vyrobená z FVE již levnější než od distribučních společností v ČR. Problém je s okamžitým spotřebováním vyrobené energie a s jejím uskladněním.

### 1.1 Sluneční energie

Slunce představuje spolehlivý a nadmíru vydatný zdroj energie nejen v oblastech s extrémním slunečním svitem, ale také v zemích střední Evropy. V České republice „dopadá“ podle dané lokality ročně od 950 do 1 250 kilowatthodin energie na metr čtvereční ( $\text{kWh/m}^2$ ). [2]



Obr. 1. 1 Sluneční svit v ČR [3]

Z tohoto pohledu se jedná o ohromné množství sluneční energie. Pro srovnání: 1 000 kWh/m<sup>2</sup> odpovídá energii 100 l topného oleje. Teď už jen zbývá tento obrovský potenciál sluneční energie využít.



Obr. 1. 2 Porovnání výkonu na 1m<sup>2</sup> [2]

Solární technologie využívá denně dopadající sluneční energii, takzvané „globální záření“. Z tohoto záření lze získávat teplo i elektrickou energii. Rozhodující je přitom to množství energie, které i přes částečné pohlcení, odrazy a rozptyl dopadne na zem.

Využitelné množství energie závisí také na ročním období, nadmořské výšce a úhlu dopadu paprsků. Ve střední Evropě existuje v důsledku oblačnosti relativně vysoký podíl difúzního (nepřímého) záření. Ale i difúzní světlo může být efektivně využito k výrobě elektrické energie.

## 1.2 Současná situace v energetice v ČR

Vývoj v energetice v posledních letech vede k přechodu od klasického konceptu napájení spotřebitelů ke konceptu využívající tzv. „chytré sítě“. Důvodem aplikace těchto nových technologií je např. neustálé snižování stabilní rezervy ve výrobě el. energie, otevření trhu s el. energií, politický tlak na snižování či zvyšování podílu výroby z vybraných kategorií zdrojů, minimalizace možnosti eliminovat náhodně vzniklé mimořádné situace významné navýšení nestabilních zdrojů zejména větrných a fotovoltaických elektráren. Tyto důvody mohou v blízké budoucnosti vést ke snížení spolehlivosti dodávky elektrické energie odběratelům. [2]

Centrální výroba el. energie je v ČR realizována převážně na velkých systémových tepelných elektrárnách. Svůj výkon vyvádějí do nadřazené soustavy o napěťové hladině

400 kV popř. 220 kV.

Odtud se přenáší po vedeních (směrem "dolů") do místa spotřeby a transformuje se až na úroveň napětí v domácnostech, podnicích, továrnách – napěťová hladina 0,4 kV. Takovou distribucí elektřiny do koncového odběrného místa vznikají v elektrizační soustavě velké ztráty. Alarmující je, že:

55% vstupní energie v palivu se ztratí formou nevyužitého tepla,

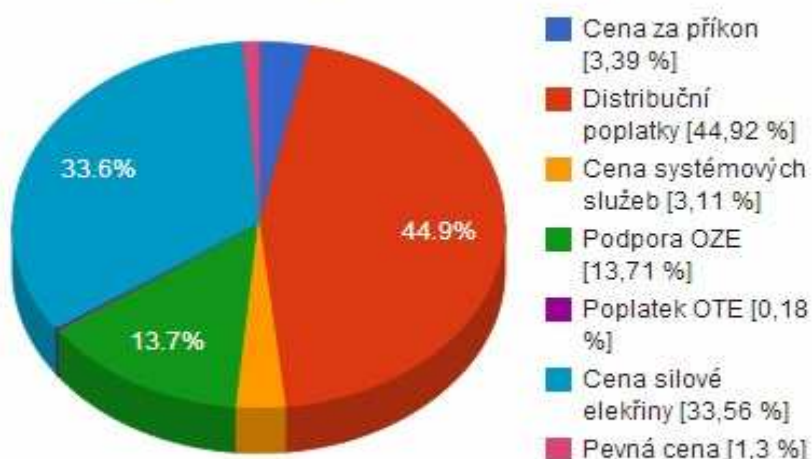
13,5% elektřiny se ztratí při dopravě k zákazníkovi,

3% se použije na krytí vlastní spotřeby elektráren,

**pouze 28,5 %** energie z paliva se dostane ve formě elektřiny ke spotřebiteli.

Zvyšováním podílu decentralní výroby elektřiny, tj. jejím umístěním do blízkosti její spotřeby, lze ztráty v sítích snížit minimálně o jednotky procent. Jedná se o optimalizaci drahé dopravy elektřiny ke koncovému odběrateli z velkých systémových elektráren (poplatky za přenos, transformaci a distribuci + daň z elektřiny). Decentralní výroba elektřiny se proto bude stále více stávat předmětem zájmu jako součást zdrojové základny, a to z hlediska snížení ztrát v sítích elektrizační soustavy, zvýšení zabezpečení dodávek a předností je její ekonomický přínos. Růst spotřeby klasických fosilních paliv ve velkých ekonomikách způsobí výhledově další nárůst cen silové elektřiny vyráběné v tepelných elektrárnách. Způsob a výše zpoplatnění silové elektřiny a dopravy elektřiny, viz obr. 4.

**Procentuální podíly jednotlivých složek ceny elektřiny (spotřeba domácnosti 2,5 MWh/rok)**



Obr. 1. 3 Cena elektřiny [5]

Z tohoto přehledu je zřejmé, že poplatky za dopravu elektřiny ke koncovým odběratelům jsou obrovské a značně prodražují koncovou celkovou cenu elektřiny v odběrném místě. Veškeré tyto náklady u decentralizovaných zdrojů elektřiny odpadají: elektřina, která se vyrobí v nižších napěťových úrovních, se tam také spotřebuje.

### 1.3 Podpora FVE

Okolní státy již zvládají a koncepčně decentralizovanou výrobu elektřiny podporují. V podmínkách ČR je stále upřednostňována centralizovaná energetika, která je ovlivňovaná pouze monopolním chováním tří dominantních provozovatelů sítí a dodavatelů elektřiny. Například sousední Německo má naprosto odlišnou energetickou politiku se smysluplnou podporou pro malé výrobce solární energie. Německo garantuje regulované výkupní ceny až na 20let zákonem o obnovitelných zdrojích (EEG). To dává jistotu dodatečného příjmu každé domácnosti, která investovala do výstavby FVE. Už dva roky mohou němečtí malí výrobci elektřiny ze slunce nejenom energií napájet síť, ale dostanou potom také náhradu, pokud sami spotřebovávají proud na místě a nezatěžují veřejnou rozvodnou síť. Tak napájí ze svého vlastního fotovoltaického zařízení své spotřebiče proudem šetrným k životnímu prostředí a mohou šetřit neustále vzrůstající náklady za el. energii. Čím více samostatně vyrobeného proudu domácnost spotřebuje, tím vyšší je také náhrada. U typického FV zařízení se jmenovitým výkonem do 30kWp obdrží provozovatel zařízení při podílu vlastní spotřeby do 30% 12,36 centů, při podílu přes 30% dokonce 16,74 centů. [2]

Německá vláda podporuje alespoň částečné osamostatnění se závislosti na dodávkách el. energie od distribučních společností. Zde cítím velkou odlišnost od chování české vlády. Naši politici nezvládli stanovení podpory OZE v letech 2008 a 2009, kdy touto chybou nastal nepřehledný blum výstavby velkých FVE na zemědělské půdě, kde investovali nezjistitelní investoři. A nyní tímto vlastním pochybením argumentují při zvyšování ceny elektřiny (a to velmi nadneseně).

### 1.4 Cena energie z FVE

V současné době je možné pořídit malou domácí střešní FVE na šikmé střeše o výkonu 10kWp za 350 000 Kč. Při plánované životnosti 20 let vyrobí tato v našich podmínkách elektrárna 200 000 kWh. Takže 1 kW vyrobená z této FVE vyjde zhruba na 1,7 Kč. Takže se dá říct, že energie vyrobená ze slunce v našich podmínkách je už dnes konkurenceschopná.

Pokud budeme uvažovat o čistě ostrovním systému, pak samozřejmě uvedená cena neplatí. Uvedená cena je pro klasickou FVE napojenou na veřejnou síť. Naše legislativa neumožňuje připojovat tzv. backup systémy ani systémy pro zvyšování vlastní spotřeby na rozdíl od sousedního Německa, kde jsou oba systémy podporovány. V ČR je možné připojit na distribuční síť klasickou FVE, která je řízena frekvencí sítě a v případě výpadku distr. sítě se musí odpojit. Druhá možnost je čistý ostrovní systém, který bude galvanicky oddělen od distribuční sítě.

## Přehled současné technologie

### 1.5 FV panely



Obr. 1. 4 Polykrystalický panel [4]

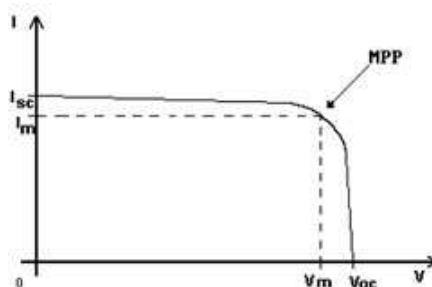
V současné době jsou nejpoužívanější monokrystalické polykrystalické panely o výkonu 240-250Wp. Tyto panely mají duralový rám pro zpevnění konstrukce panelu a pro jednoduché uchycení na konstrukci. Přední krycí materiál je speciální kalené sklo, které odolává i silnému krupobití.

Pro ostrovní systémy jsou vhodnější amorfní panely (CIS). Amorfní panel vykazuje vysokou účinností při zhoršených světelných podmínkách zejména při oblačnosti. Konstrukce amorfních panelů je odlišná od klasických mono a polykrystalických. Přední i zadní strana amorfních panelů je tvořena ze stabilního skla. Modul je tak oboustranně chráněn jak proti povětrnostním vlivům, tak i mechanickému poškození. Tyto panely jsou bezrámové. Je proto odlišná a nákladnější jejich montáž. Amorfní panely mají příznivější teplotní koeficient než klasické krystalické panely, což se projevuje při vysokých letních teplotách. Tato vlastnost pro návrh ostrovního systému nemá žádný význam. V současné době se přední světový výrobci soutěží o dosažení co nejvyšší účinnosti solárních článků. Např. firma Panasonic vyvinula fotovoltaický panel HIT, který dosáhl v laboratorních podmínkách rekordní účinnosti při přeměně slunečního záření na výrobu elektřiny. Článek řady HIT

o tloušťce 98  $\mu\text{m}$  dosáhl energetické účinnosti ve výši 24,7 %, čímž překonal dosavadní rekord společnosti SunPower. [4]

## 1.6 Měniče

Cílem měničů ve fotovoltaice je přeměnit stejnosměrné napětí o proměnném výkonu na střídavé napětí s maximální možnou účinností. Moderní měniče umějí vyhodnotit aktuální stejnosměrný výkon sledováním tzv. MPP bodu, viz. obr. 1.5. Měniče se rozdělují mimo jiné i podle toho kolik nezávislých MPP vstupů umějí sledovat. V současné době jsou měniče na vysoké technické úrovni. Jejich účinnost se pohybuje až k 97 - 98 %. Měniče se vyrábějí jednofázové, třífázové, hybridní .



Obr. 1. 5 VA charakteristika solárního článku [3]

Na trhu se ustálilo několik světových výrobců měničů: SMA Solar Technology AG (Německo), Power One (USA), Kaco (Německo), Kostal Piko (Německo), Fronius (Rakousko).



Obr. 1. 6 Měnič SMA Sunny Boy 5000TL [1]

### Novinka: Hybridní střídač Fronius

Pokud vyrobenou sluneční energii nelze ihned spotřebovat, je možné využít hybridní střídač Fronius, který dokáže uskladnit energii na pozdější dobu. Tak lze zelenou energii využívat například i v noci. Další významné výhody představuje zvýšení vlastní spotřeby



a větší nezávislost v zásobování energií. Kromě toho při výpadku sítě zůstane zachováno napájení.

Díky modulární konstrukci je možné kdykoli flexibilně doplnit, resp. rozšířit zásobník. Střídač lze tedy dovybavit akumulátorem i později. Vzhledem k inovativním komunikačním kanálům, např. webovému serveru, WLAN a ethernetu, má provozovatel neustále přehled o výkonu svého fotovoltaického systému. Přístroj bude dostupný v roce 2014.



Obr. 1. 7 Fronius Symo – malý třífázový střídač pro maximální flexibilitu [4]

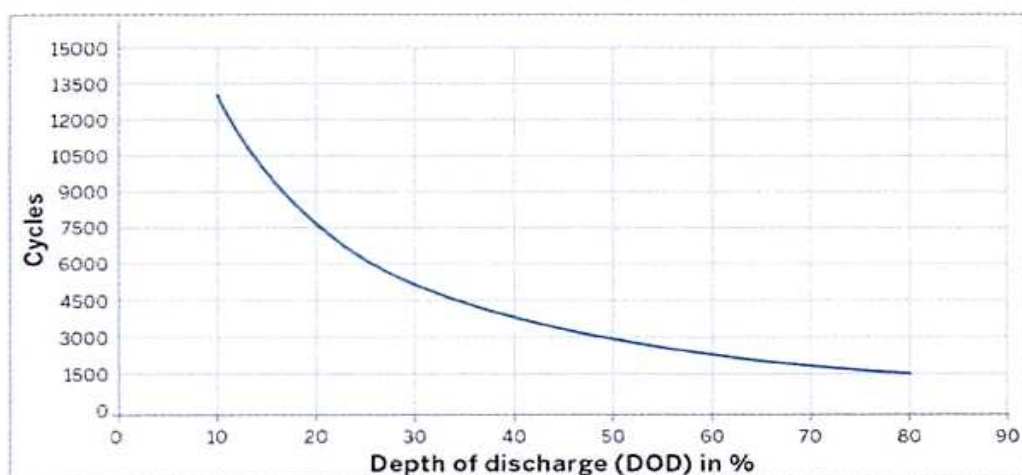
Díky záměrně malým výkonnostním třídám nabízí tento střídač vysoký podíl vlastní spotřeby. Integrované relé energetického managementu s hodinami reálného času zajišťuje přesné řízení spotřebičů, a tím další optimalizaci spotřeby energie. Podíl vlastní spotřeby je navíc podporován jednofázovým provedením, protože u jednofázové domovní přípojky jsou k této fázi připojeny také všechny spotřebiče. Perspektivní budoucnost je zajištěna inovativní technologií zásuvných karet, která umožňuje dodatečné vybavení dalšími funkcemi. Zahájení výroby je plánováno na červenec 2013. [4]

## 1.7 Akumulátory

Akumulace elektrické energie je velký problém. V energetice je dnes možná akumulace energie na vodních elektrárnách, kdy je energie „uchována“ v podobě potenciálové energie vody, která se pak ve vhodný okamžik (ve špičkách) přemění na el. energii.

Nás bude zajímat uchování energie pro rodinný dům, případě pro malé firmy. Zde se jedná o uchování el. energie, kterou jsme schopni přes den vyrobit ve FVE a přebytky potřebujeme ji uchovat na noc. Proto potřebujeme akumulátory s vysokou odolností cyklického vybíjení a nabíjení, s nízkým stupněm samovybíjení, regeneraci při hlubokém vybití a vysokou hodnotu elektrického výkonu. Nabítí a vybití akumulátoru je jeden cykl. Tedy pro naše potřeby bude jeden den (nabítí přes den, vybití v noci) jeden cykl. Klasické olověné akumulátory s běžným elektrolytem vydrží max. 800 cyklů. Proto se na podobné účely používají gelové akumulátory. Tyto baterie udrží plný stav nabití (na prázdko) až 30dnů. Mají vysokou schopnost hlubokého vybití a dobře se po hlubokém vybití obnovují. U gelové baterie je elektrolytem křemíkový gel, který zaručuje provozní bezpečnost. Nevýhodou gelových akumulátorů je max. provozní teplota do 20°C. Závislost hloubky vybití akumulátorů na životnosti je znázorněno na obr. 9.

Number of cycles as function of DOD (Depth of discharge)



Obr. 1. 8 Závislost hloubky vybití gelových akumulátorů na životnosti [6]

Další možnost jsou nikel kadmiové akumulátory, s vysokou spolehlivostí a dlouho životností. Ve srovnání s jinými typy akumulátorů poskytují možnost odběru velmi vysokých proudů a vyznačují se schopností velmi rychlého nabíjení. Významnou předností je široký rozsah provozních teplot (-40°C až + 70°C), výborné mechanické vlastnosti – odolnost vůči rázům a vibracím je předurčuje pro použití v náročných provozech například u kolejových vozidel. Typickým rysem je relativně malá změna napětí v průběhu vybíjení, což znamená, že napětí je téměř po celou dobu vybíjení konstantní a to téměř až do plného vyčerpání

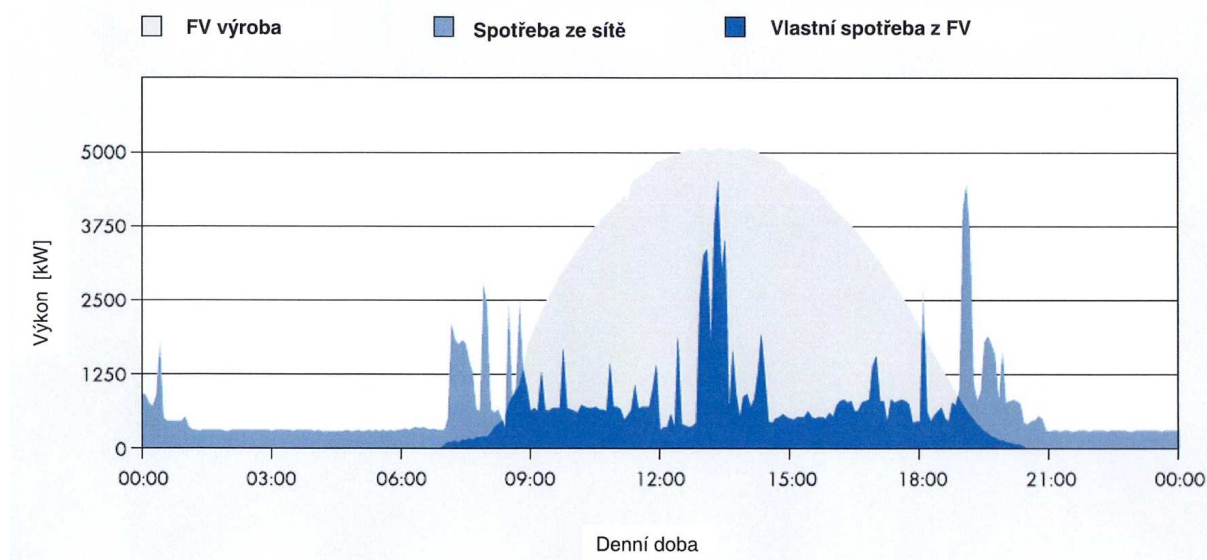
kapacity. Nevýhodou je vysoká cena.

## 1.8 Problémy ostrovních systémů

Při návrhu ostrovního systému je nutno optimalizovat výrobu z FVE a spotřebu v daném objektu. Jsou malé ostrovní systémy, kdy se z FVE panelů SS proud přes regulátor dobíjení ukládá rovnou do akumulátorů a odtud přes měnič napění 12 popř. 24V/230V do objektu. Tato varianta je levnější, je však nespolehlivá a použití je vhodné např. v chatách, karavanech na lodích a podobně.

Zde se budu zabývat ostrovními systémy pro rodinné domy popř. malé firmy, kde je nutné zabezpečit elektrickou energii 24 hodin denně, 365 dní v roce.

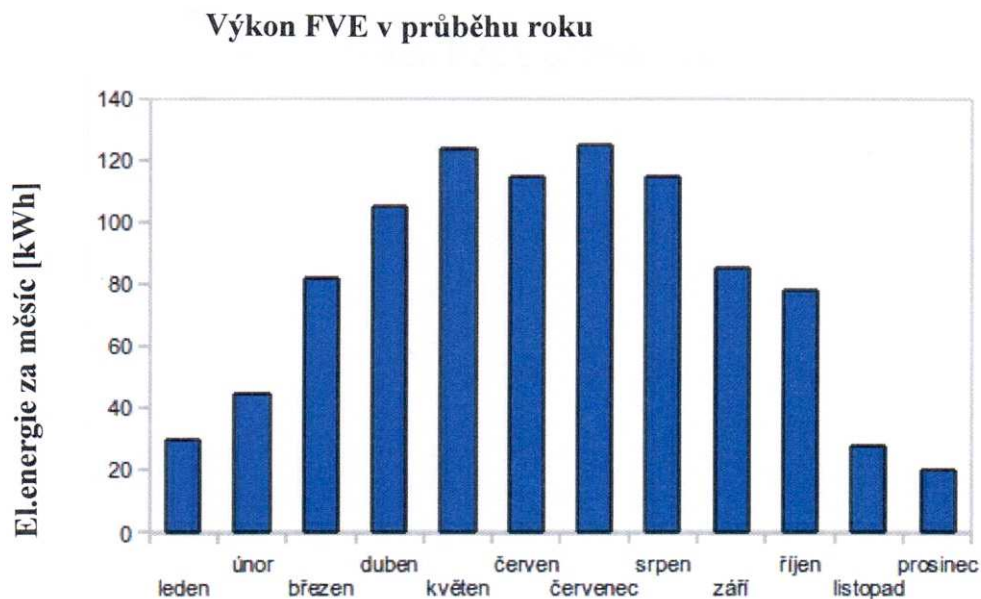
Takový systém musí být schopen převzít úlohu distribuční rozvodné sítě bez nutnosti úpravy dimenzování stávající elektroinstalace a výměny stávajících spotřebičů (ve smyslu změny napájecího napětí). Proto se ostrovní systém musí navrhovat na konkrétní objekt. Pro návrh ostrovního systému musíme brát v úvahu nejen polohu objektu vůči světovým stranám, sklon střechy apod. (jako u běžné FVE), ale i skladbu spotřebičů, provozní charakter, zvyklosti obyvatel objektu. Dalším vodítkem, který by měl být brán v úvahu, je stávající spotřeba elektrické energie podle faktur za odebranou energii od stávajícího dodavatele a nejlépe celoroční měření spotřeby.



Obr. 1. 9 Výroby FVE a spotřeba v denních dobách [1]

Na obr. 5 je zobrazena výroba FVE, spotřeba ze sítě a spotřeba z FVE v denních

dobách (obrázek je z klasické FVE zapojené pro zelený bonus).



Obr. 1. 10 Měsíční objemy el. energie vyrobené FVE o celkovém výkonu 20 kWp [1]

Na dalším obrázku č. 1.10 je zobrazen výkon FVE v průběhu roku v našich podmínkách po jednotlivých měsících. Z tohoto obr. je patrné, že v našich podmínkách budou měsíce listopad, prosinec, leden a únor z celého roku nejslabší. V kombinaci s nepříznivým počasím, např. nízká inverze, nedokážeme v tomto období zajistit dostatek energie z FVE. Proto musí ostrovní systém mít vždy připravený záložní zdroj např. dieselagregát. Je též vhodné doplnit ostrovní systém malou větrnou elektrárnou (toto se ukazuje jako výhodné hlavně v jarním a podzimní období, kdy je oblačno a vane vítr).

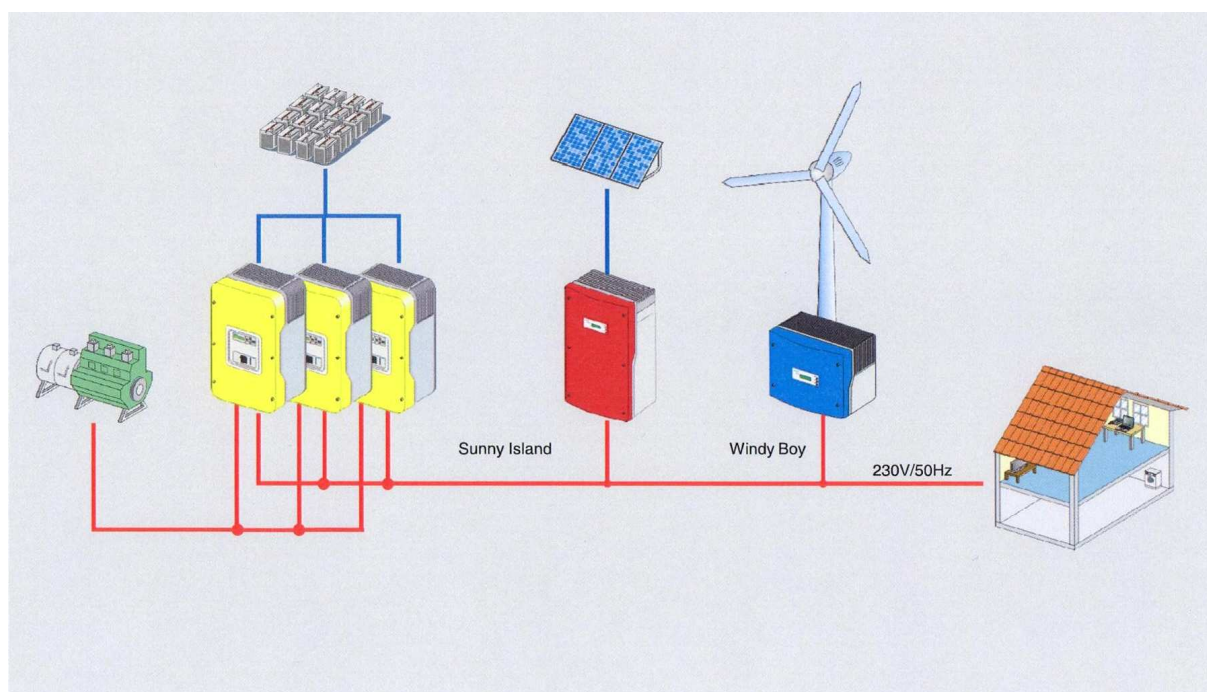
Z výše uvedeného je jasné, že potřebujeme sofistikované zařízení, jehož úkolem bude:

- optimální hospodaření s vyrobenou el. energií
- řízení výroby el. energie v případě nadvýroby FVE
- vytvoření sítě nastavení a řízení frekvence
- dodávání činného a jalového výkonu do objektu
- přenos a přeměna energie z AC na DC pro nabíjení akumulátorů
- přenos a přeměna energie z DC na AC pro napájení spotřebičů
- správa akumulátorů – optimalizované nabíjení a vybíjení akumulátorů (správa akumulátorů prodlužuje jejich životnost).
- správa zátěže – připojování a odpojování zátěže (spotřebičů)

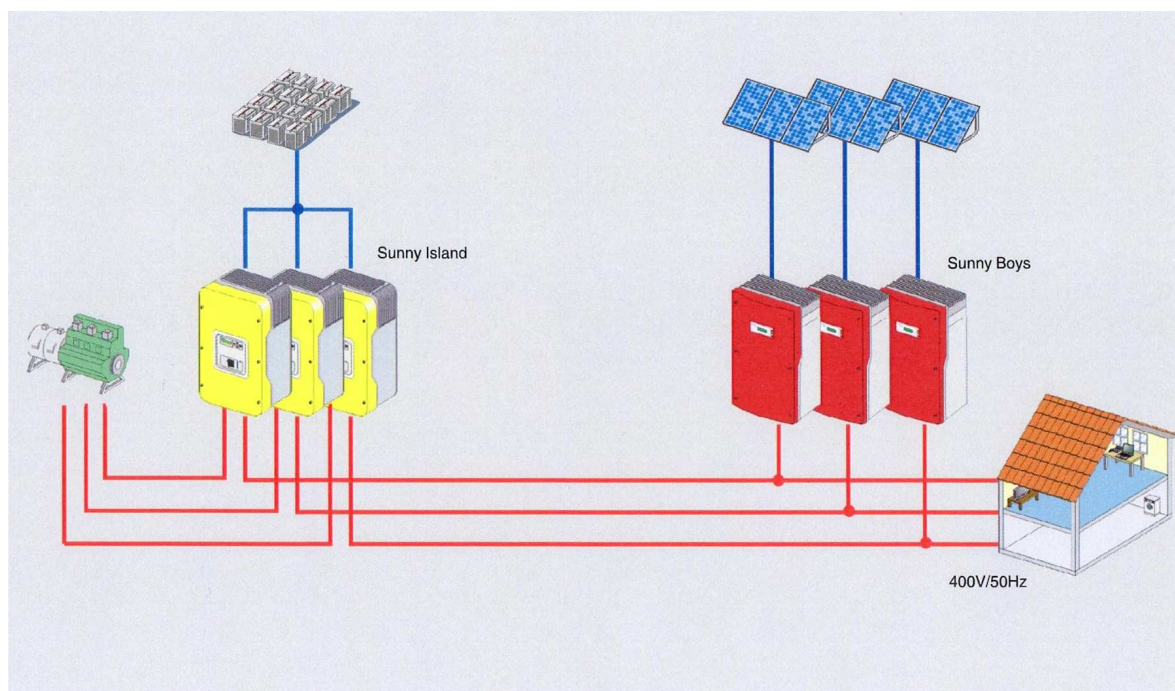
- rychlé připojení dalšího zdroje (nejčastěji diesela agregát)
- výměna dat, komunikace s ostatními zařízeními v systému, ukládání dat pro analýzu popř. přenos GSM bránou

Jako příklad popsaného zařízení jsem si vybral produktovou řadu Sunny Island od společnosti SMA.

Sunny Island je akumulátorový střídač a jako prvek vytvářející vlastní síť zodpovídá za vybudování stabilní ostrovní sítě. Přitom udržuje napětí a frekvenci AC ostrovní sítě neustále v přípustných mezích. K této ostrovní síti se přímo připojují jak spotřebiče, tak i generátory. Při přebytku energie nabíjí střídač Sunny Island akumulátorové baterie a při nedostatku energie je ostrovní síť zásobována proudem z těchto baterií. Díky vyspělému systému řízení baterií vždy zná přesný stav nabití baterií a vzhledem ke své řídicí funkci v systému činí i další rozhodnutí: v případě vybití baterií nebo při vysoké spotřebě proudu může střídač Sunny Island případně spustit diesलगенератор nebo odpojit zátěž a spotřebiče. Při plně nabitých bateriích a nízké spotřebě proudu omezuje výrobu proudu v FV systému. Rovněž určuje optimální strategii nabíjení baterií, čímž prodlužuje jejich životnost. [1]



Obr. 1. 11 Jednofázový ostrovní systém[1]



Obr. 1. 12 Třífázový ostrovní systém[1]

K ostrovnímu AC systému lze vedle fotovoltaických systémů a větrných elektráren připojit dieselgenerátory nebo jiné zdroje elektrického proudu a kromě toho i veškeré spotřebiče na 230 V.

### Možnost rozšíření až na 300 kW

Ostrovní systémy se střídači Sunny Island 2012, 2224 nebo 5048 lze bez problémů rozšířit paralelním spojením více střídačů – jednofázově i třífázově. U systémů s výkonem nad 15 kW se sdruží vždy tři střídače Sunny Island 5048 a jedna baterie do jednoho bloku (clusteru). Pro dosažení požadovaného celkového výkonu pak lze několik těchto bloků zapojit paralelně. Výhoda, když jedna baterie vypadne, je tím dotčena pouze jedna část systému.

Napájení z ostrovního systému je tedy vždy zajištěné. [ 1 ]

### Přehled ochranných opatření Sunny Island

DC – ochrana proti přepólování (integrovány DC jistič)

AC – proudové omezení na ochranu generátoru,

hlídání přepětí a podpětí AC/DC

hlídání frekvence

Teplota – ochrana proti přehřátí, teplotně kontrolované nabíjení akumulátorů (hranice 20°C)

Akumulátory – řízení ventilátoru v prostoru akumulátorů s tekutým elektrolytem, ochrana proti hlubokému vybití, ochrana proti přebíjení

Dieselagregátor – kompenzace jalového proudu generátoru

- hlídání generátorového relé
- hlídání zpětného proudu [1]

### **Správa akumulátorů**

Pečlivé vyhodnocení stavu nabití pro uživatele

SI 5048 a SI 2224/2012 jsou jediné měniče s integrovaným výpočtem SOC (stupeň nabití). SOC je velmi důležitá veličina, která je směrodatná pro většinu spínacích operací (např. sepnutí generátoru nebo vypnutí určitých specifických spotřebičů).

Vysoká dostupnost bezpečnosti provozu akumulátorů je zajištěna:

- vypnutím při přehřátí,
- vypnutím při hlubokém vybití,
- vypnutím při přebíjení.

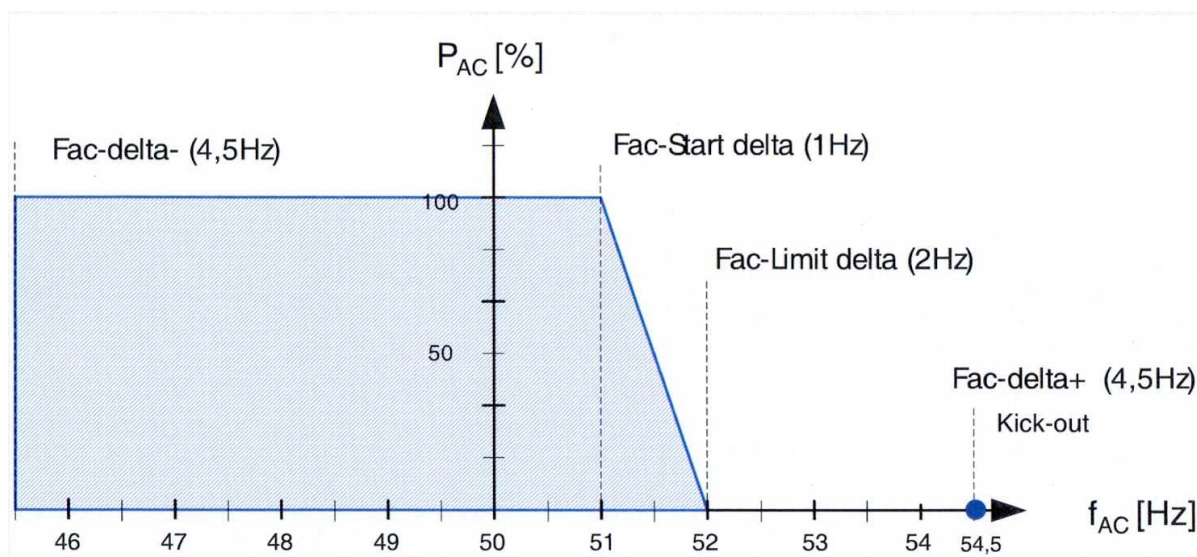
Dlouhá životnost je zajištěna díky:

- automatickému plnému a vyrovnávacímu nabíjení,
- zdvojnásobení životnosti,
- zamezení hlubokému vybití hlídáním SOC,
- o 30% lepší využití kapacity akumulátoru [1].

### **Řízení výkonu**

Jde o situace, kdy je v systému přebytek el. energie, kdy střídač má nabyté akumulátory na 100 %, veškeré dostupné řízené spotřebiče (bojler na TUV, pračka, myčka apod.) jsou naplněny nebo provedli danou operaci. Jedná se hlavně o letní měsíce. Řízení výkonu FV střídače se provádí zvýšením frekvence.

Sunny Island řídí frekvencí měnič a od hodnoty 51 Hz snižuje výkon měniče, až na hodnotu 52 Hz, kdy měnič již nedodává žádný výkon, viz obr. 1.13.



Obr. 1. 13 Řízení výkonu [1]

### Sunny Island - komunikující měnič

V případě použití v systému více jak jednoho měniče Sunny Island, je nutné nastavit, který měnič bude master. Ten pak přebírá právo jednat bez vyzvání, přebírá důležité výpočetní operace, přebírá správu spínání, tvoří komunikační centrum).

Dále musí komunikace umožňovat:

- výměnu dat s dalšími Sunny Island (měřené hodnoty, aktualizace software se zadá masterovi a ten pak zaktualizuje se u všech svých slave),
- synchronizaci mezi jednotlivými Sunny Island, tak aby tvořili požadovanou síť (230V, 400V se správným nafázováním),
- energetickými zdroji (pouze silově),
- s komunikačními produkty RS485,
- uživatelské rozhraní,
- zobrazení hodnot a stavů zařízení,
- přijetí zadání uživatele,
- ukládání dat na SD kartu. [ 1 ]

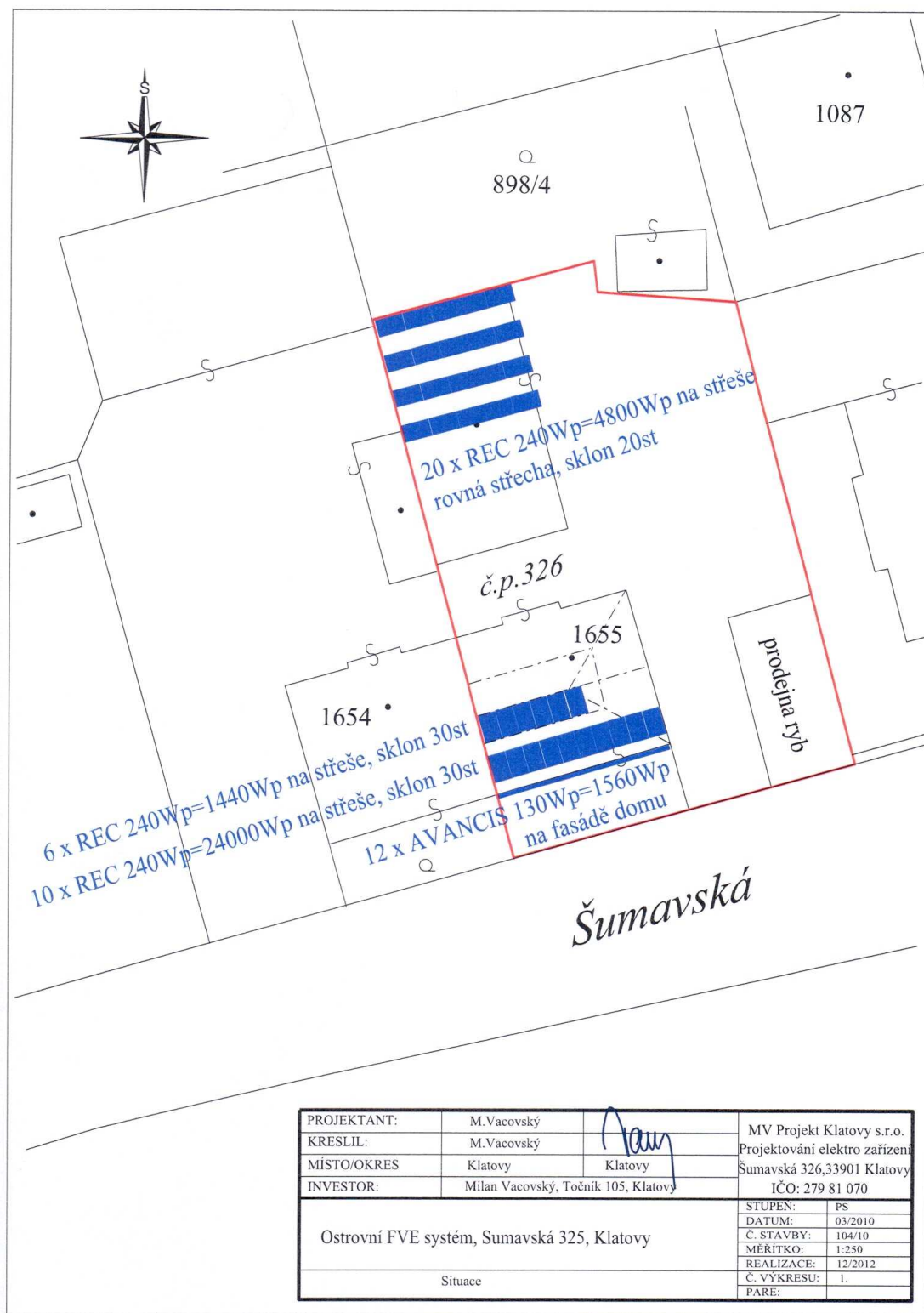


## Návrh ostrovního systému

Návrh musí vycházet z reálných možností slunečního svitu v ČR. Aby ostrovní systém měl nějaký ekonomický smysl a byl reálně funkční, je nutné jej navrhnout tak, aby při průměrném slunečním svitu fungoval od března do října 100 % ze slunce.

Nejprve je nutné stanovit energetické potřeby daného objektu. V mém případě se bude jednat o firemní dům s pěti kanceláři. Z charakteru objektu vyplývá, že největší energetická náročnost je během pracovního dne (pracovní doba je od 8 do 17 hodin). Noční provoz domu je pouze zabezpečení objektu, lednice, mrazák a drobná elektronika. Dům je vytápěn plynem, teplá užitková voda plynem i el. energií (letní a zimní provoz). V našem domě jsme dle faktury od dodavatele el. energie za rok 2011 spotřebovali 4,064 MWh. To znamená průměrná denní spotřeba je 11 kWh. Vzhledem k charakteru odběru by tato průměrná denní spotřeba se neměla v průběhu ročního období výrazně měnit. Spotřeba domu může být jiná v pracovní dny a jiná o víkendu. Dále jsem se rozhodl, že ostrovní systém bude napájet i vedle stojící prodejnu ryb. Tato budova byla dokončena a zkolaudována v 11/2012. Prodejna je vytápěna rovněž plynem, teplá užitková voda bude ohřívána jak plynem tak el. energií (letní a zimní provoz). V prodejně jsou umístěny dva chladicí prodejní boxy o příkonu 0,5 kW, výrobek ledu s denní spotřebou 2,0 kWh, gastro lednice s denní spotřebou 1,5 kWh, vzduchování pro ryby o celkovém příkonu 150 W, osvětlení LED panely celkově 350 W a klimatizace. Na základě měření jsem zjistil, že celková spotřeba prodejny byla v prosinci 2012 14 kWh/den. Dá se očekávat, že v letních měsících bude spotřeba díky klimatizaci a chlazení kolem 20 kWh/den. Sečteme-li příkony obou domů, jsme přibližně na 31 kWh/den.

Ze zkušenosti vím, že v období s nejvyšším slunečním svitem (květen – červenec) vyrobí FVE šestinásobek nainstalované kapacity. Např. pokud je na domě nainstalováno 10 kWp fotovoltaických panelů vyrobí FVE v uvedeném období denně 60 kWh. Množství FVE panelů musíme navrhovat na období března, října, kdy FVE vyrobí pouze 4násobek nainstalované kapacity. Takže by navrhovaný počet panelů měl být min. 8 kWp. Náš objekt je řadový rodinný dům s garážemi, fasáda domu je natočena na jihovýchod, viz přiložená situace.



Obr. 1. 14 Situace místa stavby

Možnosti umístění panelů na objekt nejsou ideální. Střecha domu č.p. 326 je malá a členitá. Garáže jsou sice velké cca 14x7m, ale jsou za domem, který bude v zimních měsících stínit. Na dům č.p. 326 jsem navrhl celkem 16 panelů REC 240Wp zapojených do dvou stringů po 10 a 6 panelech z důvodu rozdílného sklonu zapojených do měniče SMA SB4000TL. Na garáže jsem navrhl celkem 20 panelů REC zapojených do dvou stringů po 10 a 10 panelech zapojených do měniče SMA SB5000TL. Panely REC jsem zvolil z důvodu, že podle časopisu PHOTON jsou tyto panely nejúčinnější (vyrobí za stejných podmínek a za stejný časový úsek nejvíce energie). Na fasádu domu osadíme 12 ks amorfních panelů AVANCIS 130Wp, které budou pomocí dvou stringů zapojeny do měniče SMA SB1200. Tyto panely by měli fungovat i v zimních měsících, kdy je slunce nejnižší a nezapadají sněhem. Celý návrh jsem si ověřil v dostupném software společnosti SMA Sunny Design.

Tab. 1. 1 Celkový výkon FVE

název	počet	umístění	Celkový výkon
Amorfní panel Avancis 130Wp	12	Fasáda domu	1560 Wp
Polykryst. panel REC 240Wp	16	Střecha domu č.p.326	3840 Wp
Polykryst. panel REC 240Wp	20	Střech garáží	4800 Wp
<b>Celkem navrženo</b>			<b>10 200Wp</b>

Další důležitou částí je návrh velikosti akumulátorů. Akumulátory by měly vydržet dodávat el. energii v období, kdy nebude slunce vyrábět elektřinu. Musíme vzít v úvahu období, kdy požadujeme, aby ostrovní systém plnil svou funkci 100 % tj. od března do října. V tomto období svítí slunce cca 11 hod. Za tu dobu musí být systém schopen vyrobit celodenní spotřebu a uložit energii do akumulátorů na období, kdy slunce zapadne. V našem případě lze orientačně stanovit, že 2/3 energie se spotřebuje přes den a 1/3 v noci.

Musíme brát v úvahu, že gelové akumulátory můžeme vybíjet max. do 50 % kapacity, aby jejich životnost byla 10 let, viz kapitola akumulátory. Proto jsem navrhl, s ohledem na cenu, akumulátory o kapacitě 344 Ah. Jedná se o 2V články o celkovém počtu 24 ks (48V), takže celková kapacita je 22,560 kWh. Výrobce akumulátorů udává, že pokud budeme akumulátory vybíjet na 50 %, jejich životnost bude 3000 cyklů. Pokud uvažujeme s ostrovním

režimem 2/3 dnů v roce (březen – říjen) znamená to, že by životnost akumulátorů měla být 12,5 roku. Technologii ostrovního systému jsem navrhl do samostatné místnosti ve sklepě o rozměrech 4x3m. Jeden z důvodů této volby je to, že akumulátory potřebují teplotu max. 20°C. Zde budou umístěny zmíněné 3 měniče, ostrovní měnič Sunny Island 5048, rozvaděč DC, rozvaděč AC, pojistková skříň na odjištění akumulátorů a akumulátory. Schéma zapojení viz. Příloha.

## Popis ostrovního systému

Pro zajištění přepojení obou domů na ostrovní systém bylo nutné v rozvaděči přepojit instalaci na jednu fázi. Přípojka od ČEZ distribuce, a.s. je ukončena v rozvaděči ve sklepech označeném č. 2. Odtud vede pouze kabel CYKY 3x16 mm<sup>2</sup> do rozvaděče č. 3, kde je ukončen v elektroměru měření „Spotřeba Čez“ a odtud dále do ostrovního měniče Sunny Island 5048, kde bude ukončena na svorkách AC2. Veškerá spotřeba v obou domech bude měřena na digitálním elektroměru „Spotřeba“ osazeném v rozvaděči č. 3. Dále jsou v rozvaděči č.3 osazeny jističe pro jednotlivé měniče a pro ostrovní měnič.

Vedle rozvaděče č.3 je umístěn DC rozvaděč, kde jsou odjištěny jednotlivé stringy v pojistkových odpínačích válcových pojistkových vložek. Odtud jsou jednotlivé stringy zapojeny do jednotlivých měničů.



Obr. 1. 15 fasáda domu č.p. 326

Fotovoltaické panely budou pospojovány pomocí solárního kabelu 1x6 mm<sup>2</sup> do tzv. stringů. Jednotlivé stringy jsou zakončeny v DC rozvaděči, kde jsou odjištěny v DC odpínačem, který je opatřen válcovou pojistkou 16 A. Jednotlivé stringy jsou pak ukončeny pomocí MC4 konektoru v měniči. Měníče „tlačí“ vyrobenou energii do AC rozvaděče č. 3, kde jsou odjištěny patřičným jističem.

Pokud budou měniče vyrábět el. energii, budou ji „tlačit“ do AC rozvaděče a odtud přes elektroměr „spotřeba“ do rozvaděče domu č.p. 326 a do rozvaděče prodejny ryb.

Pokud bude vyrobené energie víc než je momentální spotřeba v obou objektech bude Sunny Island ukládat energii do akumulátorů. Pokud bude vyrobené energie z FVE nedostatek Sunny Island bude brát energii z akumulátorů. Pokud kapacita akumulátorů klesne pod 50% (lze nastavit) tak ostrovní měnič připojí náhradní zdroj. V našem případě bude náhradním zdrojem distribuční síť.



Obr. 1. 16 Střecha domu č.p.326



Obr. 1. 17 Střecha garáží



Obr. 1. 18 Rozvaděč AC a DC



Obr. 1. 19 Technologie ostrovního systému ve sklepě domu

Při spuštění celého systému bylo nutné na jednotlivých měničích nastavit ostrovní provoz pomocí software Sunny Explorer. Na ostrovním měniči Sunny Island 5048 se před spuštěním pomocí tlačítek musí mimo jiné nastavit druh záložního zdroje, a dovolenou hloubku vybití akumulátorů.



## Energetické parametry, ekonomická náročnost

Ostrovní systém byl zprovozněn 20. 3. 2013. Od této chvíle jsem zaznamenával hodnoty:

Tab. 1. 2 Měření spotřeby a výroby FVE

Období	Počet dnů	Spotřeba v [kWh]	Spotřeba CEZ v [kWh]	Ostrovní provoz v [%]
20.-31.3.2013	11	320	45	86
1.-30.4.2013	30	1106	86	92
1.5.-21.5.2013	21	819	33	96

Dle výše uvedené tabulky je patrné, že procentuelní podíl, kdy je dům nezávislí na distribuční síti se zvyšuje v závislosti na slunečním svitu.

Tab. 1. 3 Průměrné měsíční doby slunečního svitu [6]

Město	Měsíc/počet hodin v měsíci												CELKEM (h/rok)
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	
Plzeň	31	56	118	139	195	200	197	202	134	86	46	37	1 441

Tab. 1. 4 Předpoklad výroby el. energie ostrovního systému

Období	Sluneční svit v [%]	Spotřeba v [kWh]	Výroba FVE v [kWh]	Rozdíl v [kWh]
Leden	2,2	1050	242	808
Unor	3,9	1050	429	621
Březen	8,2	1050	902	148
Duben	9,6	1050	1056	0
Květen	13,5	1050	1485	0
Červen	13,9	1050	1529	0
Červenec	13,7	1050	1507	0
Srpen	14	1050	1540	0
Září	9,3	1050	1023	27
Ríjen	6	1050	660	390
Listopad	3,19	1050	351	699
Prosinec	2,5	1050	275	775
Celkem		12600	10999	3468

Na základě uvedené tabulky „průměrné měsíční doby slunečního svitu“ jsem sestavil tabulku, kde na základě změřených hodnot odhaduji celoroční provoz ostrovního systému. Ze zkušenosti vím, že v našich podmínkách jedna nainstalovaná kWp vyrobí za jeden kalendářní rok 1100kWh.

Z uvedené tabulky vyplývá, že ostrovní systém bude nezávislý ze 72% z celého roku. V měsících duben – srpen bude ostrovní systém schopen vyrobit více energie než bude spotřebováno. Tato energie bude bohužel zmařena a nelze s ní počítat.

## Závěr

V závěru své práce bych se chtěl pokusit spočítat ekonomickou návratnost předloženého ostrovního systému.

Požizovací náklady na ostrovní systém:

Tab. 1. 5 Celkové náklady na ostrovní systém

název	počet	cena za jednotku	cena celkem
Polykryst. panel REC 240Wp	36	5 200,00 Kč	187 200,00 Kč
Amorfní panel Avancis 130Wp	12	4 200,00 Kč	50 400,00 Kč
Konstrukce pro panely	1	35 000,00 Kč	35 000,00 Kč
Měnič Sunny Boy 5000TL	1	33 250,00 Kč	33 250,00 Kč
Měnič Sunny Boy 4000TL	1	29 200,00 Kč	29 200,00 Kč
Měnič Sunny Boy 1200TL	1	12 900,00 Kč	12 900,00 Kč
Ostrovní měnič Sunny Island 5048	1	59 500,00 Kč	59 500,00 Kč
Akumulátory včetně příslušenství	1	91 850,00 Kč	91 850,00 Kč
Rozvaděč AC včetně výstroje	1	15 000,00 Kč	15 000,00 Kč
Rozvaděč DC včetně výstroje	1	7 500,00 Kč	7 500,00 Kč
Elektromontážní materiál	1	35 000,00 Kč	35 000,00 Kč
celkem			556 800,00 Kč

Z celkové předpokládané spotřeby za rok 12,6 MWh ostrovní systém vyrobí a zajistí provoz 9,132 MWh. Zbývající část tj. 3,468 MWh bude nutné nakoupit od distribuční společnosti.

Na základě vyúčtování za sdružené služby dodávky elektřiny vím, že celková cena za odebranou kWh stojí 5,08 Kč. Takže se dá předpokládat, že ostrovní systém ušetří ročně 46 390 Kč. Když vezmeme v úvahu náklad na výstavbu ostrovního systému 556 800 Kč tak návratnost je 12 let (pokud nebereme v úvahu zdražování el. energie). 12 let je maximální životnost akumulátorů. Z výše uvedeného lze říct, že ostrovní systém v našich podmínkách se zatím nevyplácí.

Jak jsem v předcházejících kapitolách uvedl, nejedná se o čistý ostrovní systém, který by byl nezávislý na dodávkách energie od distributora. Ostrovní systém jsem chtěl doplnit o elektrocentrálu Heron EGM 48E LPG-NG-1F. Jedná se o plynový agregát, který může spalovat LPG (propan-butan) nebo NG (zemní plyn). Je to jednofázový stroj o výkonu

4,8 kW s elektrickým startováním. Na jednu vyrobenou kWh spotřebuje 0,32 kg plynu. Pak by jedna kWh přišla na zhruba 2 Kč. Momentálně řeším problém s vyložkováním komínu pro odvod spalin. Náklady na koupi plynového generátoru a vyložkování komínu je zhruba 45 000 Kč. Pak bych byl schopen chybějící elektřinu (3468 kWh) vyrobit za částku 6 936 Kč. Roční úspora oproti běžnému nákupu od distributora s el. energií by byla 57 072 Kč. Pak by se návratnost celého systému zkrátila na 10,5 roku.

Za dobu provozu ostrovního systému nenastala žádná nepředvídaná situace a „ostrov“ funguje bez problémů.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] SMA Solar Technology. Sunny Family. [online]. Dostupné z: <http://pdf.archiexpo.com/pdf/sma-solar-technology/sunny-family-2011-2012/87541-109703.html>
- [2] *Alternativní energie*; Praha: DUPRESS, 2011, 10. ISSN 1212-1673
- [3] Czech RE Agency. *Fotovoltaika pro každého* [online]. Sluneční záření v ČR.[Cit.14.12.2012]. Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika>
- [4] Solární novinky [online]. [Cit.15.12.2012]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/2010/index.php>
- [5] Nazeleno [online]. Brno: © 2010. Poslední změna 1.1.2010 [12.4.2013]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/>
- [6] BERANOVSKÝ, Jiří a TRUXA, Jan, Průměrné měsíční doby slunečního svitu ve vybraných lokalitách ČR. *Alternativní energie pro váš dům . TZB-info* [online]. ERA, 152 [15.4.2013]. ISBN 8086517896. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/99-prumerne-mesicni-doby-slunecniho-svitu-ve-vybranych-lokalitach-cr>

## **Přílohy**

Schéma zapojení ostrovního systému, Klatovy Sumavská 326

Návrh FVE v Sunny Design