

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

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Návrh systému pro akumulaci elektrické energie zejména z obnovitelných zdrojů v podmínkách malých a středních instalací (rodinné domy, malé a střední bytové domy, provozovny, atp.)

vedoucí práce:

prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.

autor práce:

Bc. Monika Lovecká

Plzeň, 2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Monika LOVECKÁ**  
Osobní číslo: **E10N0092P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Technická ekologie**  
Název tématu: **Návrh systému pro akumulaci elektrické energie zejména z obnovitelných zdrojů v podmínkách malých a středních instalací (rodinné domy, malé a střední bytové domy, provozovny, atp.)**  
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Zdůvodněte potřebu a význam akumulace elektrické energie obecně a zvláště v systémech s obnovitelnými zdroji energie.
2. Analyzujte různé možnosti a prostředky pro akumulaci elektrické energie, jejich výhody a nevýhody.
3. Aplikujte nejvhodnější způsob akumulace elektrické energie na provoz rodinného domu vybaveného fotovoltaickou elektrárnou o výkonu 2,5 kWp.
4. Zhodnoťte navržený způsob po stránce energetické, ekologické a ekonomické v podmínkách cen elektrické energie na rok 2012 v ČR.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**

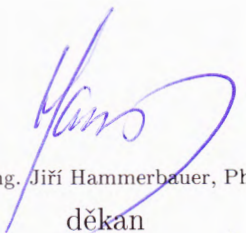
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

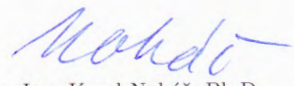
**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí diplomové práce: **Prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.**  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**  
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**

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



  
Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

## **Anotace**

Cílem diplomové práce je aplikace konkrétního způsobu akumulace elektrické energie pro podmínky rodinného domu, který je vybaven fotovoltaickými panely. V první kapitole jsou vysvětleny důvody, proč je akumulace důležitá, zvláště v systémech s obnovitelnými zdroji energie. Následuje podrobný popis jednotlivých způsobů akumulace. Hlavní částí diplomové práce je návrh fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům, výběr vhodného akumulátoru a jeho návrh. Závěrem je celkové zhodnocení navrženého systému.

## **Klíčová slova**

akumulace elektrické energie, akumulátor, fotovoltaická elektrárna, olověný akumulátor, nikl-kadmiový akumulátor

# **The Project of Electrical Energy Storage System, especially from Renewable Energy Sources in terms of Small Size and Middle Size Installations**

## **Abstract**

The aim of this diploma thesis is to analyse various energy storage systems and to design specific accumulator for family house equipped with photovoltaic system. First chapter explains why energy storage is so important, especially in connection with renewable energy sources. The next chapter cover the characterization of particular energy storage systems. The main part of the thesis deals with design of photovoltaic power plant for family house. The choice of appropriate storage system and its design follows. Finally, the evaluation of the designed system is given.

## **Key words**

electrical energy storage, accumulator, photovoltaic power plant, lead acid battery, nickel cadmium battery

## **Prohlášení**

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

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

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

V Plzni dne 9.5.2012

Monika Lovecká

.....

## **Poděkování**

Ráda bych tímto poděkovala panu prof. Ing. Janu Škorpilovi, Csc. a panu Ing. Josefu Ledvinovi za cenné rady a jejich spolupráci při řešení této práce, a za čas, který mi věnovali.

**Obsah**

Seznam symbolů .....	10
Seznam obrázků .....	11
Seznam tabulek .....	12
Úvod .....	13
<b>1. Akumulace elektrické energie.....</b>	<b>14</b>
<b>2. Systémy pro akumulaci elektrické energie .....</b>	<b>18</b>
2.1. Přečerpávací vodní elektrárny .....	18
2.2. Adiabatické tlakovzdušné akumulační elektrárny .....	19
2.3. Setrvačníky .....	20
2.4. Supravodivé indukční akumulátory .....	21
2.5. Superkapacitory .....	21
2.6. Vodíkové hospodářství.....	23
<i>Skladování vodíku.....</i>	<i>23</i>
<i>Palivové články.....</i>	<i>24</i>
2.7. Elektrochemické zdroje .....	26
<i>Olověné akumulátory.....</i>	<i>26</i>
<i>Alkalické akumulátory.....</i>	<i>27</i>
<i>Ostatní akumulátory.....</i>	<i>30</i>
<i>Vanadové redoxní baterie.....</i>	<i>31</i>
<b>3. Základní komponenty FVE .....</b>	<b>32</b>
3.1. Fotovoltaické panely.....	32
3.2. Solární regulátor nebo MPPT měnič .....	32
3.3. Solární akumulátor .....	33
3.4. Měnič napětí.....	33



<b>4. Návrh systému pro akumulaci elektrické energie z fotovoltaických panelů .....</b>	<b>34</b>
4.1. Fotovoltaická elektrárna .....	34
<i>Parametry FVE</i> .....	34
<i>Roční úhrn výroby FVE</i> .....	35
4.2. Inteligentní řízení vlastní sítě .....	37
4.3. Stanovení potřeby elektrické energie .....	39
4.4. Aplikace vhodného způsobu akumulace .....	40
4.5. Návrh akumulátorů .....	41
<i>Olověný akumulátor</i> .....	41
<i>NiCd akumulátor</i> .....	41
<i>Superkapacitor</i> .....	42
<b>5. Zhodnocení navrženého systému .....</b>	<b>43</b>
5.1. Ekologické a energetické zhodnocení .....	43
5.2. Technicko - ekonomické zhodnocení akumulace .....	45
<i>Olověný akumulátor</i> .....	45
<i>NiCd akumulátor</i> .....	46
<i>NiCd akumulátor s příslušenstvím AquaGen</i> .....	46
<i>Superkapacitor</i> .....	46
<i>Celkové porovnání</i> .....	47
<b>Závěr .....</b>	<b>48</b>
<b>Použité zdroje .....</b>	<b>49</b>
<b>Přílohy .....</b>	<b>52</b>

## **Seznam symbolů**

EDLC	elektrochemický dvouvrstvý kondenzátor (Electrochemic Double Layer Capacitor)
UPS	záložní zdroj (Uninterruptible Power Supply)
PČ	palivový článek
AFC	alkalický palivový článek (Alkaline Fuel Cell)
DMFC	metanolový palivový článek (Direct Methanol Fuel Cell)
PAFC	palivový článek s kyselinou fosforečnou (Phosporic Acid Fuel Cell)
SOFC	palivový článek s pevným oxidem (Solid Oxide Fuel Cell)
MCFC	palivový článek s tekutým uhličitanem (Molten Carbonate Fuel Cell)
PEMFC	palivový článek s polymerní membránou (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell)
VBR	vanadová redoxní baterie (Vanadium Redox Battery)
FVE	fotovoltaická elektrárna
DC	stejnoseměrný proud (Direct Current)

## Seznam obrázků

Obr. 1: Průměrný roční úhrn globálního záření a roční energetický potenciál (1kWp systém s výkonovým poměrem 0.75) na území České Republiky [19] .....	15
Obr. 2: Průměrná rychlost větru v ČR ve výšce 100 m nad povrchem [24] .....	16
Obr. 3: Princip adiabatické tlakovzdušné akumulární elektrárny [6] .....	19
Obr. 4: Setrvačnickový akumulátor Beacon Power (Smart Energy 25 Flywheel)[14].	20
Obr. 5: Schéma kyslíko-vodíkového palivového článku [7].....	25
Obr. 6: Princip VBR [17] .....	31
Obr. 7: Časová závislost výkonu FVE.....	36
Obr. 8: Časová závislost globálního záření na jednotku plochy.....	36
Obr. 9: Modul superkapacitoru BMOD0500 P016 B02 [28].....	42
Obr. 10: Závislost počtu cyklů baterie na stupni vybití [26].....	45

## Seznam tabulek

Tab. 1: Srovnání vlastností olověného akumulátoru, superkapacitoru, elektrolytického kondenzátoru [9] .....	22
Tab. 2: Parametry palivových článků [16].....	25
Tab. 3: Parametry modulu MPE 225 PS 04 [29].....	34
Tab. 4: Průměrné hodnoty produkce elektřiny a globálního záření řešeného systému (stanovené programem PVGIS).....	35
Tab. 5: Parametry střídače Sunny Island 2224 [30].....	37
Tab. 6: Spotřeba elektrické energie .....	39
Tab. 7: Parametry jednoho článku OPzV 600 S [26].....	41
Tab. 8: Parametry jednoho článku FNC 605 L [27] .....	42
Tab. 9: Parametry jednoho modulu superkapacitoru BMOD0500 P016 B02 [28].....	42
Tab. 10: Emisní koeficienty výroby elektřiny v hnědohelné elektrárně [31].....	43
Tab. 11: Pokles emisí hnědohelné elektrárny v důsledku výroby 2320 kWh <sub>e</sub> fotovoltaickou elektrárnou.....	44
Tab. 12: Porovnání jednotlivých variant akumulace .....	47

## Úvod

Obnovitelné zdroje energie zažívají v posledních letech velký rozmach. V souvislosti s jejich nerovnoměrnou dodávkou energie nabývá na významu akumulace energie. Zejména ostrovní fotovoltaické elektrárny jsou na vhodném akumulátoru zcela závislé, protože představuje jediný zdroj energie v době, kdy systém energii nevyrábí. Ve světě dnes již také probíhá řada pilotních instalací pro akumulaci energie z velkých fotovoltaických parků nebo větrných elektráren.

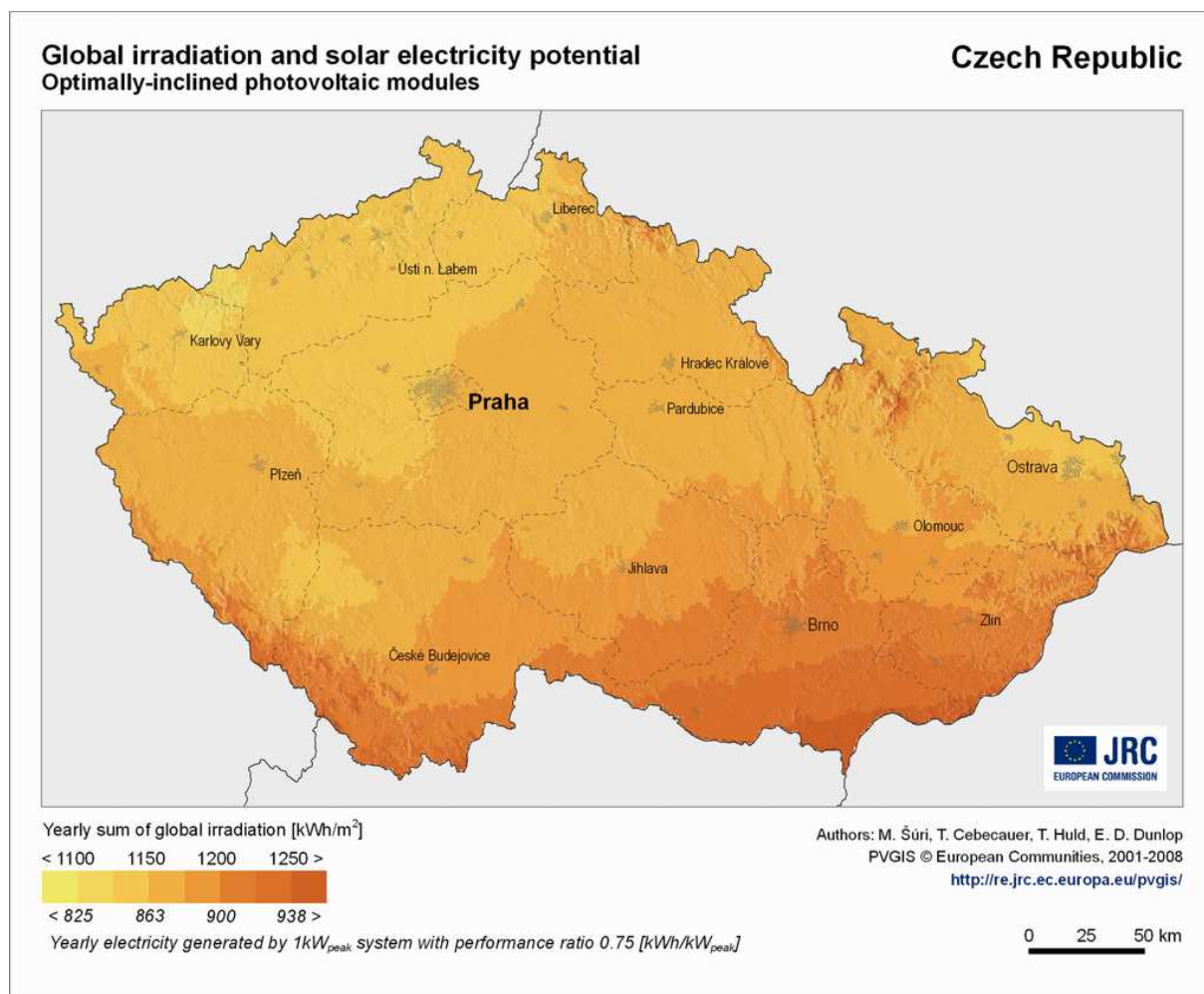
Způsoby, jak elektrickou energii akumulovat, se liší samotným principem i vhodnou oblastí využití. Řada akumulátorů se v dnešní době používá již po dlouhý čas, a naopak, některé systémy se teprve ještě vyvíjejí. Cílem práce je různé způsoby analyzovat a poté vybrat vhodný akumulátor pro provoz rodinného domu s fotovoltaickou elektrárnou o výkonu 2,5 kWp.

## 1. Akumulace elektrické energie

Elektrická energie se dnes využívá téměř ve všech oblastech lidské činnosti. Tam, kde není možné nebo výhodné určitý spotřebič připojit k elektrické síti, se využívají různé sekundární zdroje elektřiny - nejčastěji sekundární a primární články (hovorově baterie).

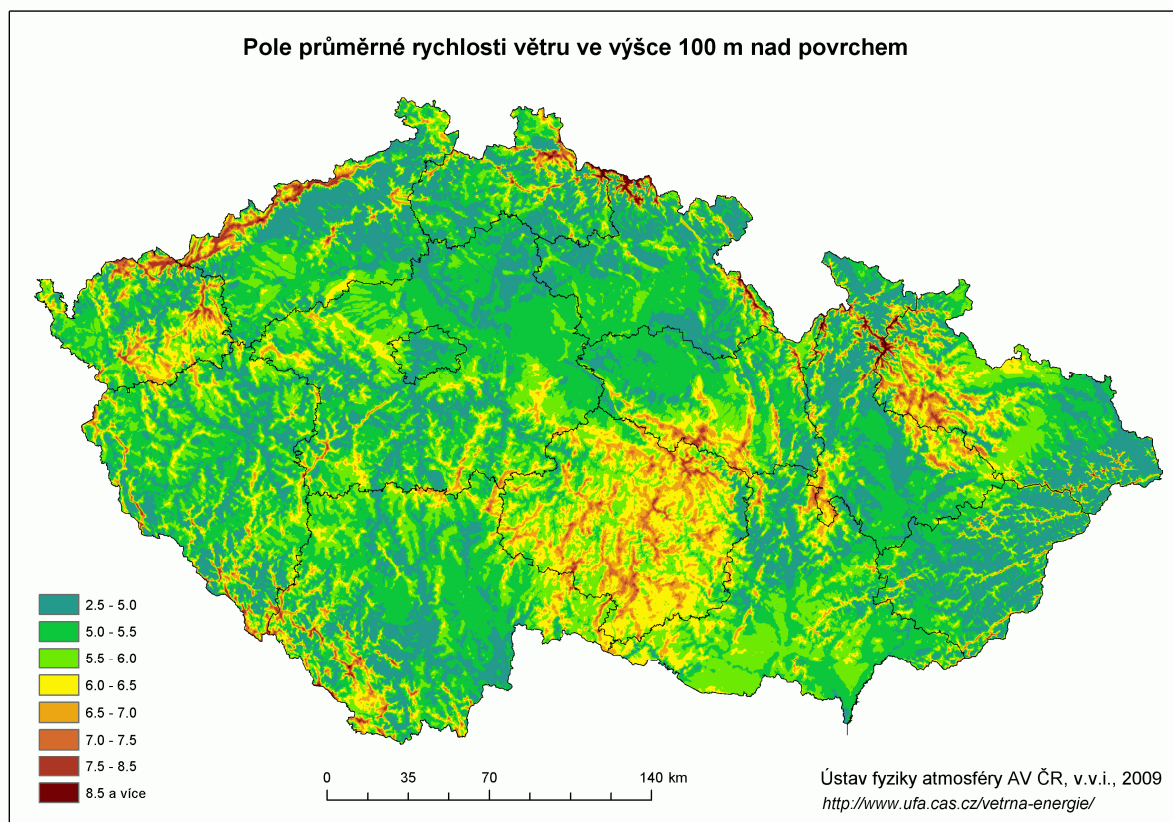
Při výrobě elektrické energie platí, že energie vyrobená a spotřebovaná se musí rovnat. Spotřeba je však veličinou značně kolísající v čase a ovlivňuje ji řada faktorů - klimatické podmínky, střídání dne a noci, střídání ročních období, pracovní zvyklosti a podobně. Průběh spotřeby (výroby) elektrické energie v určitém časovém období vyjadřuje diagram zatížení (odběrový diagram). Diagram zatížení může být denní, týdenní, měsíční, roční a je rozdělen do třech pásem (základní zatížení, pološpičkové, špičkové). Základní zatížení se pokrývá hůře regulovatelnými energetickými zdroji, jako jsou jaderné elektrárny a velké tepelné elektrárny. Pološpičkové zatížení pokrývají vodní akumulární elektrárny a tepelné elektrárny. Přecherpací elektrárny se využívají jako špičkový zdroj elektřiny, jsou schopny rychle dodávat výkon a naopak při přebytku elektrické energie ji odebírají.

Význam akumulace elektrické energie roste především s větším využíváním obnovitelných zdrojů, které elektřinu vyrábějí značně nepředvídatelně a nerovnoměrně a způsobují tak kolísání výkonu v distribuční síti. Výroba elektřiny z fotovoltaických elektráren závisí zejména na intenzitě slunečního záření, době osvětlení, sklonu a orientaci panelů a také na teplotě okolí. Obr. 1. mapuje rozložení globálního záření na území České republiky. Z obrázku je vidět, že nejlepší přírodní podmínky pro provoz fotovoltaických elektráren jsou na území Jihomoravského kraje.



Obr. 1: Průměrný roční úhrn globálního záření a roční energetický potenciál (1kW<sub>p</sub> systém s výkonovým poměrem 0.75) na území České Republiky [19]

Výkon větrných elektráren je závislý na rychlosti větru, a tedy na lokalitě, výšce elektrárny a povětrnostních podmínkách; dále na délce lopatek elektrárny a typu turbíny. Akumulování elektřiny do vhodného systému je řešením, jak využít špičkové výkony a mít zajištěnou energii pro pozdější použití. Takřka nutností je mít vyřešenou akumulaci energie v ostrovních systémech, které nejsou připojeny k elektrizační soustavě a v případě nepříznivých podmínek pro výrobu elektrické energie z fotovoltaických panelů, případně větrných elektráren se akumulátory stávají jediným elektrickým zdrojem.



Obr. 2: Průměrná rychlost větru v ČR ve výšce 100 m nad povrchem [24]

Existuje mnoho způsobů, jak elektrickou energii uchovat, každý má samozřejmě jinou oblast využití a řada z nich je ještě ve vývoji. Zcela běžně se využívají elektrochemické zdroje proudu pro napájení nejrůznějších elektrických spotřebičů, nebo jako záložní zdroje energie. Přečerpávací vodní elektrárny se využívají k akumulování přebytečné elektrické energie a v případě potřeby ji zase vyrábějí. Stejnou úlohu plní tlakovzdušné elektrárny, které jsou ale méně účinné; v současnosti však probíhá vývoj efektivnější varianty tohoto typu elektrárny. Dalším zajímavým řešením akumulací elektrárny jsou setrvačnickové stanice.

Intenzivní je také vývoj akumulátorů pro dopravní prostředky, který souvisí s ubýváním zásob ropy a se snahou snižovat množství spotřebované energie. V kolejových vozidlech nebo v elektromobilech je výhodné akumulovat energii při brzdění a opět ji využít například při rozjíždění.



Elektrickou energii lze skladovat na základě různých principů, které jsou uvedeny v následujícím rozdělení a podrobněji popsány v druhé kapitole:

- mechanická akumulace – přečerpávací vodní elektrárny, adiabatická tlakovzdušná akumulace, setrvačníky
- elektromagnetická akumulace – superkapacitory, supravodivé indukční akumulátory
- elektrochemická akumulace – akumulátory, palivové články

## 2. Systémy pro akumulaci elektrické energie

### 2.1. Přečerpávací vodní elektrárny

Vodní elektrárny obecně lze dělit podle různých kritérií, např. podle velikosti instalovaného výkonu, podle získaného spádu a velikosti využívaného spádu, podle umístění a uspořádání strojovny apod. Podle charakteru pracovního režimu rozlišujeme průtočné a akumulární (špičkové) elektrárny. Průtočné vodní elektrárny, které pracují pouze s přirozeným průtokem vodního toku, pokrývají základní části denního diagramu zatížení. Akumulační (špičkové) elektrárny soustřeďují spád pomocí akumulární nádrže a využívají se pro pokrývání energetických špiček. K akumulaci elektrické energie pomocí mechanické energie vody slouží přečerpávací elektrárny.

Základem přečerpávací elektrárny jsou dvě nádrže v odlišných nadmořských výškách. Nádrže mohou být přírodní nebo vybudované uměle. V přímořských oblastech je možné jako dolní nádrž využít moře. Horní nádrž může mít také přirozený přítok. Principem činnosti elektrárny je čerpání vody ze spodní do horní nádrže (čerpadlový režim) při nadbytku elektrické energie v rozvodné síti; v době špičkové potřeby energie pracují jako klasické vodní elektrárny (turbínový režim). V současnosti se přečerpávací elektrárny konstruují v dvoustrojovém uspořádání. Funkci čerpadla a turbíny zajišťuje reverzibilní turbína (např. Francisova); motor a generátor jsou taktéž realizovány jedním strojem.

Vodní elektrárny jsou velice účinnými zdroji elektrické energie. Ztráty při přeměně mechanické energie vody na elektrickou energii vznikají nejprve v přivaděči, dále je část energie nevyužita na výstupu ze savky. V turbíně vznikají ztráty objemové, hydraulické a mechanické; další energie je ztracena v převodu, generátoru a transformátoru. Konkrétní hodnoty dosahované účinnosti elektrárny závisí na technickém řešení a parametrech jednotlivých součástí. Velké vodní elektrárny dosahují účinnosti kolem 90 %. Přečerpávací elektrárny dosahují účinnosti 75 až 85 %, protože je třeba započítat i účinnost čerpadlového režimu. Je však nezbytné vzít v úvahu i účinnost výroby energetického zdroje, který elektřinu pro čerpání vyrobil (zejména tepelné elektrárny).

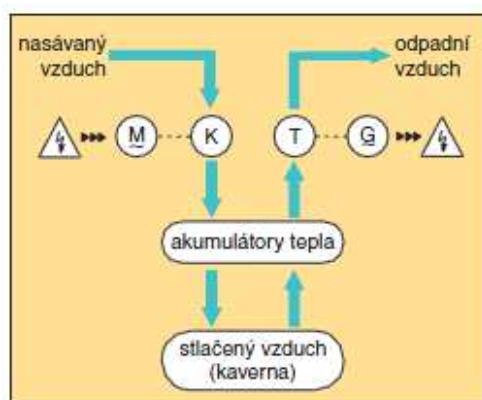
[1], [13]

## 2.2. Adiabatické tlakovzdušné akumulární elektrárny

Elektrárny, které akumulují elektrickou energii pomocí stlačeného vzduchu, nejsou příliš využívány. První elektrárna tohoto druhu byla vystavěna v roce 1978 v Německu (Hundorf), další následovala ve Spojených státech amerických až v roce 1991 (McIntosh, Alabama).

Princip tlakovzdušné elektrárny je podobný jako u vodních přečerpávacích elektráren. Nadbytek elektrické energie v rozvodné síti je využit ke kompresi vzduchu do podzemního zásobníku, kaverny. Při nedostatku elektrické energie se stlačený vzduch využije na pohon turbíny. Nejprve se však musí před vstupem do turbíny ohřát, běžně pomocí zemního plynu. Efektivnější jsou elektrárny využívající adiabatickou kompresi (princip viz Obr. 3). Přebytečné teplo se ukládá do tepelných zásobníků. V případě špičkové potřeby elektřiny se stlačený vzduch využije pro pohon turbíny, pohánějící elektrický generátor. Ohřev vzduchu zajistí teplo akumulované v tepelných zásobnících. Výhodou tohoto systému je odstranění nutnosti ohřevu vzduchu zemním plynem, což samozřejmě zvyšuje účinnost celého procesu výroby elektřiny. Adiabatické tlakovzdušné elektrárny dosahují účinností srovnatelných s přečerpávacími elektrárnami (asi 70 %).

V roce 2010 byla podepsána šesti německými průmyslovými a výzkumnými společnostmi dohoda o spolupráci na projektu ADELE. Jeho cílem je vybudovat akumulární elektrárnu s kapacitou 1 GWh a elektrickým výkonem až 200 MW, která bude v případě potřeby schopna nahradit výkon až čtyřiceti větrných elektráren se jmenovitým výkonem 5 MW po dobu až 5 hodin. [6]



Obr. 3: Princip adiabatické tlakovzdušné akumulární elektrárny [6]

### 2.3. Setrvačníky

Zajímavým zařízením pro skladování energie jsou setrvačníky, akumulují ji ve formě rotační kinetické energie. Kinetická energie je úměrná momentu setrvačnosti a druhé mocnině úhlové rychlosti setrvačníku. Využívají se buď setrvačníky o velké hmotnosti (velký moment setrvačnosti) nebo lehká tělesa s vysokým počtem otáček.

V moderních setrvačnickových akumulátorech je rotační hmota z kompozitových materiálů uložena ve vakuu na magnetických ložiscích, aby se zamezilo tření se vzduchem. Setrvačnick se nabíjí z elektrické sítě pomocí elektromotoru, který roztáčí setrvačnickové kolo do vysokých otáček. Při vybíjení se elektromotor chová jako generátor elektrické energie a setrvačnick je zpomalován.

Setrvačníky jsou nenáročné na údržbu, mají vysokou životnost (cca 20 let) a nejsou škodlivé vůči životnímu prostředí. Velkou předností je doba náběhu v řádu jednotek sekund. Využívají se například v dopravní technice (gyrobusy, kolejová vozidla), telekomunikacích, UPS zařízeních. Setrvačnickové akumulátory lze využít i k regulaci elektrické sítě. V červenci 2011 byla ve Stephentownu ve státě New York uvedena do provozu první 20 MW setrvačnicková elektrárna. Technologii pro tuto elektrárnu zajistila firma Beacon Power. Použité setrvačnickové akumulátory dosahují 8000 - 16000 otáček za minutu. Při 16000 otáčkách za minutu lze akumulovat 25 kWh elektrické energie.

[2], [14]



Obr. 4: Setrvačnickový akumulátor Beacon Power (Smart Energy 25 Flywheel)[14]

## 2.4. Supravodivé indukční akumulátory

Elektrickou energii lze akumulovat v magnetickém poli cívky, kterou prochází stejnosměrný elektrický proud; platí pro ni vztah

$$W = \frac{1}{2}LI^2$$

kde  $L [H]$  je indukčnost,  $I [A]$  elektrický proud. Materiál pro takovýto akumulátor musí být supravodivý, aby vlivem elektrického odporu nedocházelo ke ztrátě energie teplem. Důležité je také zajištění tepelné izolace, kterou zajišťuje kapalně hélium nebo kapalně dusík, v závislosti na použitém supravodivém materiálu. Nízkoteplotní supravodiče, tj. čisté kovy a jejich slitiny, supravodivé při teplotách pod 23 K, je nutné chladit kapalně héliem (bod varu 4,23 K). Vysokoteplotní supravodiče lze chladit dostupnějším kapalně dusíkem, protože mají kritické teploty nad teplotou varu kapalně dusíku (78 K).

[7], [12]

## 2.5. Superkapacitory

Kondenzátor je součástka, umožňující akumulaci energie v elektrostatickém poli, odpadá tedy převod elektrické energie na jinou formu. Pro energii akumulovanou v nabitěm kondenzátoru platí vztah:

$$W = \frac{1}{2}CU^2$$

kde  $C [F]$  je elektrická kapacita,  $U [V]$  napětí mezi dvěma elektrodami.

Běžné elektrolytické kondenzátory mají nízkou hustotu energie, perspektivnějšími součástkami se však stávají superkapacitory, které dosahují hustoty energie až 100x vyšší. Superkapacitory se označují také jako elektrochemické dvouvrstvé kondenzátory (EDLC), neboť jsou založeny na principu elektrochemické dvouvrstvy. Dvouvrstva, mající tloušťku řádově  $10^{-10}$  m, se skládá ze dvou opačně nabitých elektrod, na jejichž povrch jsou vázány ionty opačného náboje. Elektrody jsou hliníkové folie s vrstvou aktivního uhlíku ve formě prášku. Folie má plochu v poměru k hmotnosti asi 2000 m<sup>2</sup>/g. Elektrody odděluje polypropylenový separátor a prostor mezi nimi vyplňuje elektrolyt.

Napětí jednoho článku se pohybuje okolo 2,5 V (v případě organického elektrolytu). Vyššího napětí lze dosáhnout zapojením superkapacitorů do série.

V současnosti se superkapacitory využívají především v dopravní technice (v elektromobilech, hybridních vozidlech, elektrické trakci); při brzdění jsou nabíjeny a následně se akumulovaná energie využije pro akceleraci. Svými parametry superkapacitory vyplňují místo mezi elektrochemickými akumulátory a běžnými elektrolytickými kondenzátory, jak je uvedeno v následující tabulce. Perspektivní oblastí využití je fotovoltaika, kde se mohou superkapacitory využít pro kompenzaci krátkodobých výkyvů výkonu.

[2], [7], [9]

Tab. 1: Srovnání vlastností olověného akumulátoru, superkapacitoru, elektrolytického kondenzátoru [9]

	<b>Olověný akumulátor</b>	<b>Superkapacitor</b>	<b>Elektrolytický kondenzátor</b>
nabíjecí doba	1 až 6 h	0,3 až 30 s	$10^{-3}$ až $10^{-6}$ s
vybíjecí doba	0,3 až 3 h	0,3 až 30 s	$10^{-3}$ až $10^{-6}$ s
energetická hustota [Wh/kg]	10 až 100	1 až 10	< 0,1
výkonová hustota [W/kg]	< 1000	< 10 000	< 100 000
počet cyklů	1000	> 500 000	> 500 000
účinnost	0,7 až 0,85	0,85 až 0,98	> 0,95

Takzvané pseudokondenzátory, řadí se také mezi superkapacitory, jsou založené na změně a složení povrchu elektrody. Jedna elektroda pseudokondenzátoru je z uhlíkového materiálu, druhá elektroda obsahuje oxid rutheničitý  $\text{RuO}_2$  (případně jiné oxidy kovů s tunelovou strukturou). Oxid rutheničitý je schopen přijímat a následně opět vydávat vodíkové ionty. V pseudokondenzátorech dochází tedy kromě přenosu náboje mezi elektrolytem a elektrodou i k chemickým reakcím. Během opakovaného nabíjení a vybíjení dochází ke stárnutí elektrod rozměrovými změnami. Oproti superkondenzátorům s elektrickou dvouvrstvou mají pseudokondenzátory větší kapacitu, ale na druhé straně nižší účinnost nabíjení a delší časovou odezvu.

[5], [10]

## 2.6. Vodíkové hospodářství

Vodík je považován za palivo budoucnosti, schopné nahradit fosilní zdroje, pohánět dopravní prostředky, dále jej lze využít k vytápění, přímé výrobě elektrické energie a k řadě dalších průmyslových procesů. Vodíkové hospodářství zahrnuje výrobu vodíku (např. z obnovitelných zdrojů) a jeho následné využití (ve vodíkovém spalovacím motoru nebo v palivovém článku). Spalováním vodíku nevznikají žádné škodlivé emise a oxidy uhlíku, odpadním produktem je pouze voda. Většímu rozšíření vodíkových systémů brání zatím stále vysoká cena.

V přírodě se vodík volně nevyskytuje, lze jej však vyrobit technologicky. Nejvíce se používají dva způsoby výroby vodíku – parní reformace zemního plynu a elektrolýza vody. Při parní reformaci reaguje metan, zbavený sirných příměsí, s vodní párou při teplotě 750 – 800 °C a tlaku 3 – 5 MPa. Katalyzátorem této reakce je oxid niklu. Vzniklými produkty jsou oxid uhelnatý, oxid uhličitý a vodík.

Elektrolýza vody je jednoduchým způsobem, jak vyrobit velmi čistý vodík. Nevýhodou této technologie je její finanční náročnost, která velmi závisí na ceně dodávané elektrické energie. Při klasické elektrolýze prochází stejnosměrný proud vodným roztokem a na záporné elektrodě se vylučuje vodík, na kladné elektrodě kyslík. Účinnost tohoto procesu je 80 – 92 %, po započítání účinnosti vyrobené elektrické energie, která je pro elektrolýzu nutná, je celková účinnost 25 – 35 %. Vysokoteplotní elektrolýza kombinuje přívod elektrické energie s teplem, proces probíhá při teplotách 600 – 1000 °C a oproti klasické elektrolýze je celková účinnost vyšší, až 45 %.

### *Skladování vodíku*

Vodík má nízkou hustotu, proto jsou potřeba na jeho uskladnění nádoby velkých objemů. Ty navíc nemohou být z materiálů, do kterých by vodík mohl pronikat, protože jeho molekuly jsou velmi malé. Všeobecně známou vlastností vodíku je schopnost tvořit výbušnou směs s kyslíkem nebo se vzduchem, musí se tedy zajistit, aby podmínky pro vznícení nenastaly. Pro skladování vodíku se využívá různých technických možností. Uskladnění plynného vodíku ve vysokotlakých ocelových nádobách je nepoužívanějším způsobem. V plynné formě má vodík i při vysokých tlacích relativně velký objem (přibližně dvakrát větší než kapalný vodík).

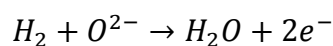
Vodík v kapalně formě lze skladovat v tepelně izolovaných vysokotlakých zásobnících. Nevýhodou je energetická náročnost zkapalnění, na které se spotřebuje 30 – 40 % energetického obsahu vodíku (bod varu vodíku za standardního tlaku je 20,3 K) a nebezpečí vzniku výbuchu při zbytkové koncentraci kyslíku.

Další možností uskladnění vodíku je v hydridech kovů, které za určitých podmínek vodík snadno absorbují (vysoké tlaky a mírné teploty). Při nízkých tlacích a relativně vysokých teplotách pak tyto materiály vodík v plynné formě uvolňují. Příkladem používaného materiálu je slitina  $\text{LaNi}_5$ , která může přijmout až šest atomů vodíku na jednu molekulu a vytvořit tak sloučeninu  $\text{LaNi}_5\text{H}_6$ . Nevýhodou tohoto systému skladování je vysoká hmotnost hydridů kovů; na druhé straně je tento způsob nejbezpečnější z uvedených.

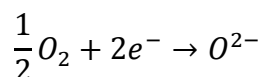
### ***Palivové články***

Energii vodíku lze využít buď jeho spalováním, nebo v palivových člancích. PČ vyrábějí elektrickou energii přeměnou chemické energie paliva, které musí být do systému kontinuálně přiváděno spolu s okysličovadlem (oxidačním činidlem). Reakční zplodiny jsou taktéž kontinuálně odváděny. Palivem může být kromě vodíku formaldehyd, amoniak, oxid uhelnatý, zemní plyn, metan, metanol, etanol, kyselina mravenčí. Oxidačním činidlem je kyslík, kromě specializovaných oblastí. Elektrody jsou pouze katalyzátory chemických reakcí, během provozu téměř nemění chemické složení.

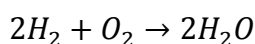
Principem činnosti PČ je přivádění paliva na zápornou elektrodu (palivová elektroda), které zde oxiduje. Uvolněné elektrony se vnějším obvodem pohybují ke kladné elektrodě, kde za účasti okysličovadla probíhá redukce. Nejběžnějším příkladem PČ je kyslíkovo-vodíkový, který je znázorněn na obr. 5. Na záporné elektrodě PČ nastává reakce:



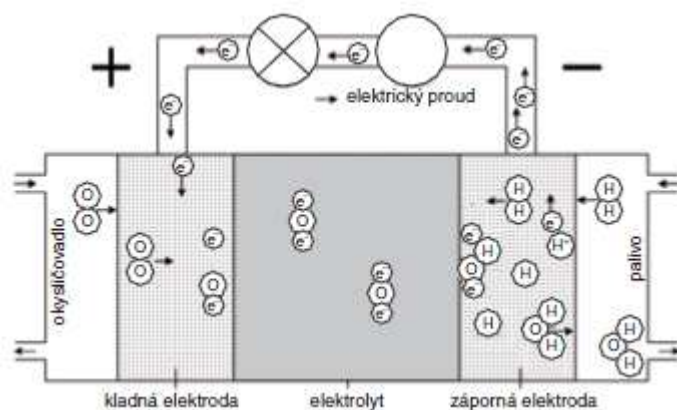
Na kladné elektrodě probíhá reakce:



Celkovou reakci vyjadřuje rovnice:







Obr. 5: Schéma kyslíko-vodíkového palivového článku [7]

Současný vývoj rozlišuje několik typů palivových článků, které se liší palivem, elektrolytem a provozní teplotou. Existují články alkalické (AFC), metanolové (DMFC), články s kyselinou fosforečnou (PAFC), s pevným oxidem (SOFC), s tekutým uhličitánem (MCFC), s polymerní membránou (PEMFC). Jejich parametry uvádí následující tabulka.

Tab. 2: Parametry palivových článků [16]

Typ PČ	Elektrolyt	Provozní teplota	Výkon	Účinnost
<b>PEMFC</b>	polymerní iontoměničová membrána	50 - 100 °C	1 kW - 250 kW	50 - 60 %
<b>DMFC</b>	polymerní iontoměničová membrána	50 - 100 °C	až 1,5 kW	20 - 25 %
<b>AFC</b>	KOH	60 - 90 °C	10 kW - 100 kW	60 - 80 %
<b>PAFC</b>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	150 - 200 °C	50 kW - 1 MW	32 - 38 %
<b>MCFC</b>	roztavená směs alkalických uhličitánů	600 - 700 °C	1 kW - 1 MW	45 - 47 %
<b>SOFC</b>	iontově vodivý keramický materiál (ZrO <sub>2</sub> stabilizovaný Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	650 - 1000 °C	5 kW - 3 MW	35 - 43 %

Palivové články lze uplatnit v řadě aplikací. Nízkoteplotní články se využívají jako zdroje napájení elektronických zařízení a dopravních prostředků, dále také v kosmonautice. Vysokoteplotní články lze využít pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla nebo jako záložní zdroje.

[2], [4], [7], [8], [11]

## 2.7. Elektrochemické zdroje

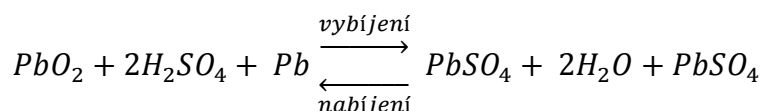
Elektrochemické zdroje elektrické energie přímo přeměňují chemickou energii na elektrickou. Lze je rozdělit do třech skupin: primární články, sekundární články a palivové články (viz. Kap. 2.6); některé zdroje lze však řadit do dvou skupin současně. Elementárním dílem elektrochemických zdrojů je článek (galvanický článek). Základními funkčními částmi jsou dvě prostorově oddělené elektrody a elektrolyt, který je ve styku s oběma elektrodami a umožňuje přenos elektronů mezi nimi. Jednotlivé články spojené do série, za účelem získání většího napětí, tvoří baterii.

Primární články (hovorově baterie) mají omezené množství reaktantů a po jejich vyčerpání nelze vzniklé produkty nabíjením znovu převést na původní reaktanty, jak je to možné u sekundárních článků (akumulátorů). V palivových článcích probíhá přeměna paliva (vodík, formaldehyd, amoniak, oxid uhelnatý, zemní plyn apod.) na elektrickou energii. Musí být zajištěn stálý přívod paliva a okysličovadla a také reakčních produktů.

### Olověné akumulátory

Olověné akumulátory jsou nejpoužívanějším druhem sekundárních elektrochemických zdrojů. Podle oblasti využití je rozdělujeme na staniční, dopravní (dohromady průmyslové) a startovací. Relativně novou skupinou jsou fotovoltaické akumulátory.

Aktivní hmotou záporné elektrody olověného akumulátoru je porézní olovo, u kladné elektrody je aktivní hmotou oxid olovičitý. Elektrolytem je zředěná kyselina sírová, která disociuje na síranové anionty a vodíkové kationty, které při vybíjení reagují s aktivními materiály elektrod. Následující chemická rovnice vyjadřuje celkovou reakci v olověném akumulátoru při vybíjení, při nabíjení pak reakce probíhá v opačném směru.



Jmenovité napětí jednoho článku  $U_N$  je 2,00 V. Větší napětí se získá zapojením článků do série, výsledné napětí je násobek jmenovitého napětí jednoho článku a počtu článků. Při jmenovitém napětí akumulátoru 2 V lze teoreticky získat měrnou

energii 167 Wh/kg, této hodnoty však nelze dosáhnout, protože aktivní hmoty elektrod a elektrolyt nelze stoprocentně využít a navíc musí akumulátor obsahovat další neaktivní části konstrukčního charakteru. Nejvyšší měrné energie a zároveň nejvyšší hustoty energie mají startovací a trakční akumulátory (až 85 Wh/kg).

Životnost olověných akumulátorů ovlivňuje konstrukce elektrod, teplota prostředí, vlastnosti použitého nabíječe a způsob provozování akumulátoru (tzn., je-li neustále dobíjen, nebo periodicky nabíjen a vybíjen).

Účinnost akumulace elektrické energie je veličina klesající se zvyšováním nabíjecího a vybíjecího proudu, dále také s poklesem teplot a stárnutím akumulátoru. Vyjadřuje se buď jako ampérhodinová (proudová) účinnost, nebo watthodinová (energetická) účinnost. Proudová účinnost je určena vztahem:

$$\eta_{Ah} = \frac{Q_{vyb}}{Q_{nab}}$$

kde  $Q_{vyb}$  [Ah] je náboj odebraný při vybíjení článku,  $Q_{nab}$  [Ah] je náboj potřebný na obnovení počátečního stavu nabití.

Energetická účinnost je poměr elektrické energie získané vybíjením  $W_{vyb,s}$  [Ah] (střední hodnota) a energie dodané nabíjením  $W_{nab,s}$  [Ah] (střední hodnota):

$$\eta_{Wh} = \frac{W_{vyb,s}}{W_{nab,s}} = \frac{Q_{vyb} U_{vyb,s}}{Q_{nab} U_{nab,s}}$$

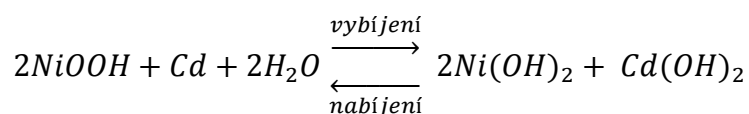
Olověné akumulátory dosahují proudové účinnosti akumulace elektrické energie až 85 % a energetické účinnosti až 65 %. Výhodou olověných akumulátorů je jejich příznivá pořizovací cena, účinnost, spolehlivost, dostatečný výkon. Vyrábějí se v kapacitách řádově 1 – 10000 Ah.

### Alkalické akumulátory

Elektrolytem alkalických akumulátorů je vodný roztok hydroxidu alkalického kovu, většinou hydroxidu draselného (KOH). Dále se dělí na akumulátory nikl-kadmiové (Ni-Cd), nikl-železné (Ni-Fe), nikl-metalhydridové (Ni-MH), nikl-zinkové (Ni-Zn), nikl-vodíkové (Ni-H), stříbro-zinkové (Ag-Zn) a stříbro-kadmiové (Ag-Cd); uvedené označení vyjadřuje materiály aktivních hmot elektrod.

### ***Nikl-kadmiové akumulátory (Ni-Cd)***

Nikl-kadmiové akumulátory jsou nejrozšířenějším druhem alkalických akumulátorů. Elektrolytem je vodný roztok hydroxidu draselného (KOH) s přísadou hydroxidu lithného (LiOH), která zlepšuje nabití a prodlužuje životnost. Aktivní hmoty jsou ze směsi více materiálů, hlavní přísadou aktivní hmoty kladných elektrod je hydroxid nikelnatý ( $\text{Ni(OH)}_2$ ) a záporné elektrody jsou převážně z hydroxidu kademnatého ( $\text{Cd(OH)}_2$ ). Obsah kadmia se kvůli jeho toxicitě výrobci snaží snižovat, nebo jej nahradit jiným materiálem. Při provozu akumulátoru v něm probíhají chemické reakce, které vyjadřuje celková rovnice:



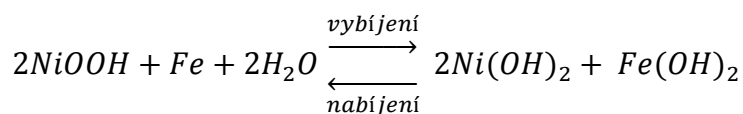
Sto procentním využití aktivních hmot elektrod by se dalo teoreticky získat 209,8 Wh/kg energie, reálná hodnota měrné energie dosahuje 10 až 35 Wh/kg. Jmenovité napětí jednoho článku je 1,2 V.

Nikl-kadmiové akumulátory jsou oproti olověným dražší, počáteční samovybití je větší. Nevýhodou je také menší energetická účinnost – ampérhodinová účinnost je rovna 0,7 pro kapsové elektrody, 0,8 pro spékané elektrody; watthodinová účinnost 0,5 pro kapsové elektrody, 0,65 pro spékané elektrody.

Výhodou oproti olověným akumulátorům je vyšší životnost, použitelnost pro nižší teploty, možnost skladování ve vybitém stavu, větší mechanická odolnost, schopnost rychlého nabíjení a v neposlední řadě větší odolnost proti přebíjení.

### ***Nikl-železné akumulátory (Ni-Fe)***

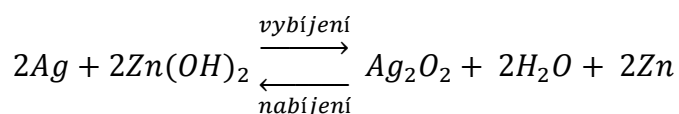
Nikl-železné akumulátory mají tu výhodu, že neobsahují toxické kadmium. Aktivní hmota záporných elektrod se skládá převážně z magnetovce (oxidu železatoželezitého  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), který se při nabíjení redukuje na porézní železo a při vybití oxiduje na hydroxid železnatý ( $\text{Fe(OH)}_2$ ). Při nabíjení a vybití probíhá v akumulátoru celková reakce:



Nikl-železné akumulátory trpí větším samovybíjením než nikl-kadmiové, výhodami jsou vyšší odolnost proti přebíjení a hlubokému vybíjení a také větší životnost. Měrná energie dosahuje 50 Wh/kg.

### ***Stříbro-zinkové akumulátory (Ag-Zn)***

Elektrolytem těchto akumulátorů je opět vodný roztok hydroxidu draselného; aktivní hmotou kladné elektrody je oxid stříbrný ( $\text{Ag}_2\text{O}$ ) v práškové formě, nanesený na stříbrný nebo postříbřený měděný kolektor. Materiálem pro aktivní hmotu záporné elektrody je zinek, také práškový. Chemické reakce v stříbro-zinkových akumulátorech probíhají podle následující rovnice:



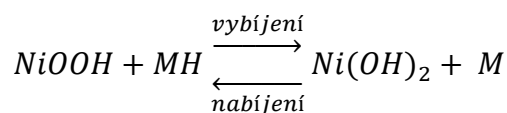
Reálná hodnota měrné energie dosahuje až 130 Wh/kg. Napětí jednoho článku je 1,86 V. Účinnosti dosahují vysokých hodnot, více než 0,9 pro ampérhodinovou účinnost a více než 0,75 pro watthodinovou účinnost.

Tyto akumulátory lze vybitet velkými proudy, netrpí poškozením mrazem, uchováním ve vybitém stavu a náhodným zkratem. Jejich vysoké pořizovací náklady však neumožňují jejich rozsáhlejší používání.

### ***Nikl-metalhydridové akumulátory (Ni-MH)***

Aktivní hmotou kladných elektrod nikl-metalhydridových akumulátorů jsou sloučeniny niklu, záporné elektrody využívají hydridy kovů, které absorbují vodík. Tato slitina obsahuje např. paladium, vanad, titan, zirkonium apod. Elektrolytem je roztok hydroxidu draselného KOH.

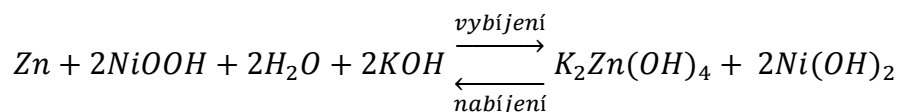
Při vybíjení, resp. nabíjení probíhá následující chemická reakce:



kde M označuje slitinu a MH hydrid kovu. Nikl-metalhydridové akumulátory mají jmenovité napětí 1,2 V na článek a měrnou energii až 80 Wh/kg.

***Nikl-zinkové akumulátory (Ni-Zn)***

Celková reakce, která v článku probíhá, je vyjádřena následující rovnicí:



V nikl-zinkovém akumulátoru probíhají i parazitní reakce – koroze zinku, uvolňování vodíku a kyslíku při nabíjení. Dalším problémem je nestejná nabíjitelnost elektrod, dochází tak k přebíjení zinkové elektrody. Vznikají na ní výčnělky, které mohou způsobit vnitřní zkrat. Produkty, vznikající při vybití zinku, jsou velmi dobře rozpustné v elektrolytu. Důsledkem jsou tvarové změny zinkových elektrod. Řešením je přidání vhodných látek snižujících rozpouštění zinku do elektrolytu, nebo do samotné elektrody.

**Ostatní akumulátory*****Akumulátory síra-sodík (Na-S)***

Tyto akumulátory pracují při teplotách až 300 °C, kdy jsou síra i sodík v kapalném stavu. Napětí 2,08 V odpovídá měrná energie 760 Wh/kg.

Soustavu síra-sodík je vhodné využívat v aplikacích, kde se využívá kontinuálně a má tak stálou provozní teplotu.

***Lithium-ion akumulátory (Li-ion)***

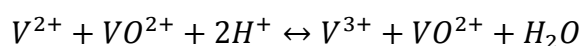
Kationty lithia při provozu akumulátoru přecházejí mezi elektrodami (při nabíjení z kladné do záporné, při vybití naopak). Materiálem záporné elektrody jsou oxidy na bázi lithia, které jsou na vzduchu stálé (LiCoO<sub>2</sub>, LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, LiNiO<sub>2</sub>). Kladná elektroda je z grafitu nebo amorfního uhlíku. Elektrolyt je z vodivé soli a rozpouštědla, vodivou solí je např. LiPF<sub>6</sub>.

Jmenovité napětí článku se pohybuje v rozmezí 3 – 4 V. Hodnoty měrné energie dosahují až 130 Wh/kg a životnost kolem 1000 cyklů.

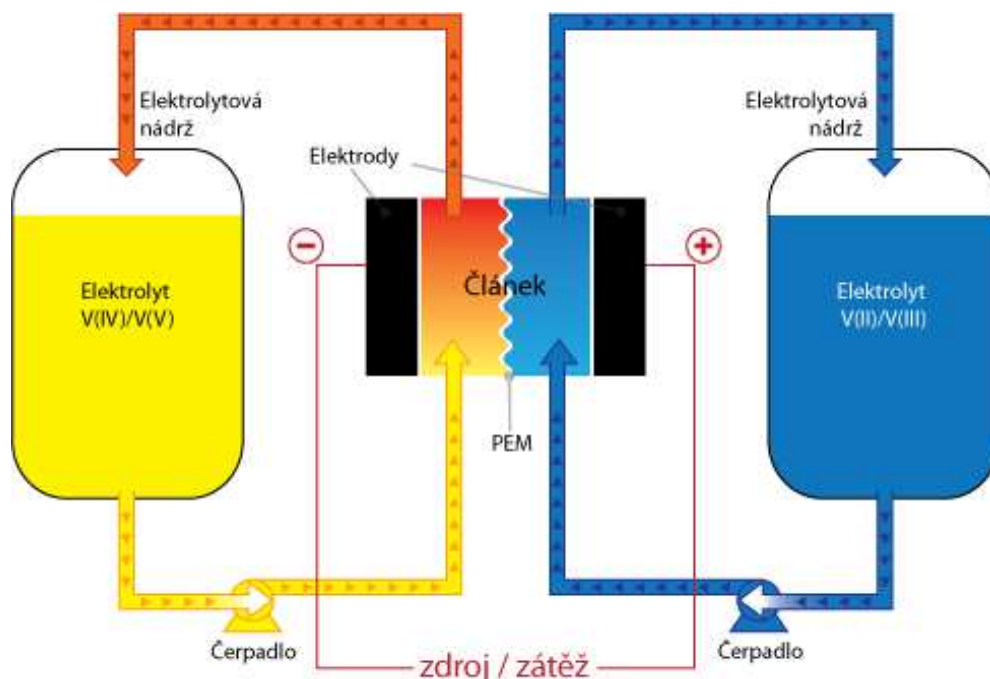
[3], [15]

### Vanadové redoxní baterie

Vanadová redoxní baterie (VBR) je průtočným systémem, který pracuje na podobném principu jako palivové články. Baterie obsahuje dvě nádrže pro elektrolyty, které jsou složeny z aktivní vanadové soli v různých oxidačních stavech, a kyselinu sírovou. Z nádrží jsou elektrolyty odváděny do článku, jehož dvě části jsou odděleny iontoměničovou membránou, zajišťující oddělení elektrolytů. Při nabíjení probíhá redukce v jednom elektrolytu a oxidace ve druhém. Při vybíjení dochází k opačným reakcím. V článku probíhá celková reakce:



Standardní potenciál článku je 1,26 V (při molární koncentraci 1 M a teplotě 25 °C).



Obr. 6: Princip VBR [17]

Vanadové redoxní baterie neobsahují nebezpečné kovy, dosahují velkého počtu nabíjecích a vybíjecích cyklů a účinnosti až 85 %. Jsou velmi perspektivním typem akumulátoru pro systémy s obnovitelnými zdroji energie – zajišťují stabilizaci napětí a frekvence, zlepšují kvalitu elektrické energie, lze je využít jako záložní zdroje například v ostrovních systémech. Baterie menších výkonů nacházejí využití v elektrických vozidlech. Systémy s vanadovými redoxními bateriemi, které se ve světě nacházejí, dosahují instalovaných výkonů stovek kW až jednotek MW.

[17], [18]

### 3. Základní komponenty FVE

Součásti, z kterých se FVE skládá, závisejí na způsobu jejího provozu. Pro přímou dodávku energie do sítě je nutností kromě fotovoltaických panelů vhodný měnič napětí, elektroměr a příslušné kabely. U ostrovních systémů je důležitá akumulace energie, systém se tak rozšiřuje o samotný akumulátor a solární regulátor nebo MPPT měnič.

#### 3.1. Fotovoltaické panely

Základem panelu jsou fotovoltaické články - polovodičové prvky (diody s jedním nebo více PN přechody), generující stejnosměrný elektrický proud při dopadu slunečního záření, jehož velikost je úměrná velikosti plochy článku a intenzitě dopadajícího záření. Jeden článek má napětí přibližně 0,5 V, proto se články sériově spojují, aby se dosáhlo vyššího napětí. Fotovoltaický panel zajišťuje propojení jednotlivých článků a jejich zapouzdření.

Většina současně využívaných fotovoltaických panelů obsahuje články první generace, což jsou články využívající monokrystalický nebo polykrystalický křemík. Monokrystalické články dosahují vyšší účinnosti (11 - 15 %), avšak jejich výroba je náročnější a tudíž jsou dražší. Polykrystalické články s účinností 11 - 13 % však lépe využívají plochu panelu a díky své struktuře lépe využívají difuzní záření.

Druhá generace článků se vyvíjela v souladu se snahou o úsporu křemíku. Na substrát je nanášena tenká vrstva amorfního nebo mikrokrytalického křemíku, případně i jiné materiály. Výrobní náklady těchto článků jsou nižší než u první generace, avšak současně klesla i účinnost (8 - 10 %). Dále existují články třetí generace, které jsou ve stadiu vývoje.

#### 3.2. Solární regulátor nebo MPPT měnič

Základní funkcí solárního regulátoru je řízení dobíjení akumulátorů. Při plném nabití akumulátory odpojuje a zabraňuje tím jejich přebíjení. Životnost akumulátorů ovlivňuje i hluboké vybití, regulátory zajišťují jejich odpojení při určité hodnotě napětí. Účinnost regulátoru je kolem 80 %.

MPPT měnič je alternativou k solárnímu regulátoru. Obsahuje vysokofrekvenční DC/DC měnič, který vstupní stejnosměrné napětí transformuje na vysokofrekvenční střídavé napětí, které je dále transformováno na stejnosměrné napětí odlišné hodnoty



od vstupního. MPPT funkce (Maximum Power Point Tracking) vyhledává bod maximálního výkonu na voltampérové charakteristice a tudíž lépe využije výkon panelu. MPPT měnič je schopen využít výkon solárních panelů při vyšším napětí, než je napětí akumulátorů, s relativně nízkými ztrátami. Účinnost MPPT měniče dosahuje 95 %, ovšem pořizovací náklady jsou oproti klasickým solárním regulátorům samozřejmě vyšší.

### **3.3. Solární akumulátor**

V podmínkách malých a středních instalací, jako jsou rodinné domy, se v současnosti běžně používají olověné, případně nikl kadmiové akumulátory. Solárním systémům jsou přizpůsobeny svou delší životností, menším samovybíjením a odolností proti hlubokému vybití.

### **3.4. Měnič napětí**

Měnič napětí, také střídač nebo invertor, převádí stejnosměrné napětí na střídavé (obvykle stejnosměrných 12 V nebo 24 V na střídavých 230 V). Podle tvaru výstupního napětí existují měniče s čistou sinusoidou a s modifikovanou sinusoidou. Pro citlivé elektronické přístroje je vhodné využít měnič s čistou sinusoidou, který je však několikrát dražší než měnič s modifikovanou sinusoidou.

Charakteristickými hodnotami měničů jsou trvalý a špičkový výkon. Trvalý výkon měniče napětí je měnič schopen dodávat maximálně po dobu několika hodin, zatímco špičkový výkon pouze v desítkách až stovkách milisekund.

Účinnost střídače dosahuje 85 - 90 %

[21], [22], [23]

## 4. Návrh systému pro akumulaci elektrické energie z fotovoltaických panelů

Cílem práce je navržení vhodného typu akumulátoru pro fotovoltaickou elektrárnu s výkonem 2,5 kW<sub>p</sub>, umístěné na střeše rodinného domu, který bude současně připojen k rozvodné síti. Lokalitou modelového domu je město Plzeň.

### 4.1. Fotovoltaická elektrárna

#### Parametry FVE

- instalovaný výkon 2,475 kW<sub>p</sub>: 11 panelů Schüco MPE 225 PS 04 (výkon 225 W<sub>p</sub>), sériovo-paralelní zapojení
- orientace a sklon: jih, 45°

Fotovoltaické panely Schüco MPE 225 PS 04 jsou vyrobeny z polykrystalických solárních článků, jednotlivý modul o výkonu 225 W<sub>p</sub> dosahuje účinnosti 14,0 %. Příčné výtzuhy a zesílený rám zvyšuje jejich odolnost proti větru a sněhu (testovaná odolnost do 3,6 kN/m<sup>2</sup>). Po dobu 12 let je garantován jmenovitý výkon na 90 % a na 80 % po dobu 25 let.

[29]

Tab. 3: Parametry modulu MPE 225 PS 04 [29]

<b>Elektrické parametry</b>	
Jmenovitý výkon ( $P_{mpp}$ )	225 W <sub>p</sub>
Účinnost článků	16,0 %
Účinnost modulu	14,0 %
Jmenovité napětí ( $U_{mpp}$ )	29,50 V
Jmenovitý proud ( $I_{mpp}$ )	7,63 A
Napětí naprázdno ( $U_{oc}$ )	36,70 V
Zkratový proud ( $I_{sc}$ )	8,19 A
Nominální provozní teplota článků	45 °C (± 2 °C)
Maximální přípustné napětí systému	1000 V
Počet článků	60 (6 x 10)
Velikost článků	156 mm x 156 mm
<b>Mechanické parametry</b>	
Vnější rozměry (d x š x v)	1639 x 983 x 42 mm
Hmotnost	18 kg

### Roční úhrn výroby FVE

Energetický potenciál dané elektrárny v určeném místě lze spočítat ve webovém formuláři Evropské unie PVGIS (Photovoltaic Geographical Information Systém), viz. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php>.

Navržený systém vyrobí při jižní orientaci a sklonu 45° celkem 2320 kWh elektrické energie za rok. Formulář umožňuje optimalizaci sklonu panelů a jejich natočení vůči jihu. Pro danou lokalitu by byla příznivější orientace 2° od jihu směrem na východ a sklon panelů 33°. Při takovéto orientaci by roční produkce elektřiny byla 2350 kWh, přičemž více vyrobené energie by bylo v letních měsících a naopak méně v zimě, ve srovnání s navrženým systémem.

Tab. 4: Průměrné hodnoty produkce elektřiny a globálního záření řešeného systému (stanovené programem PVGIS)

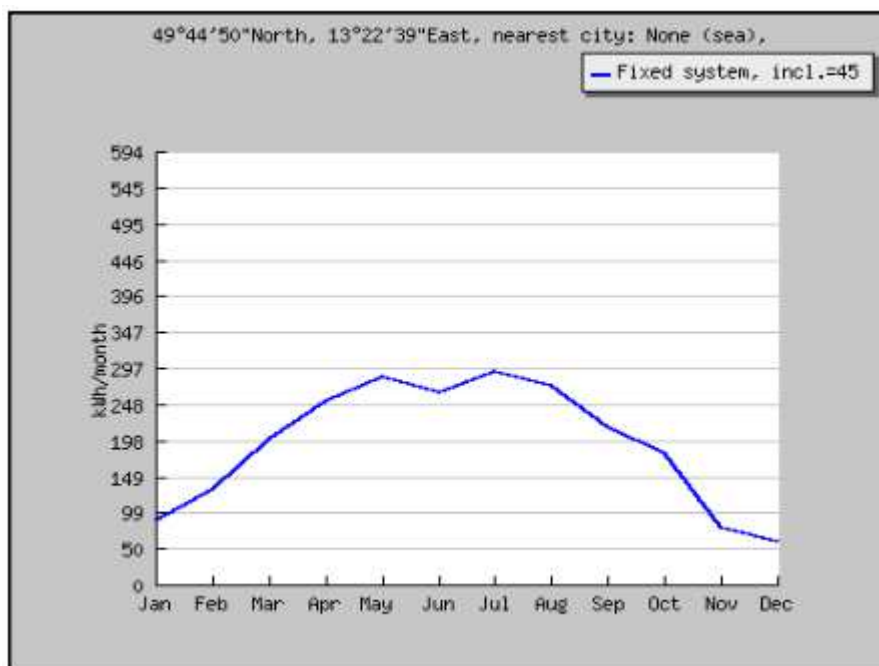
Měsíc	$E_d$ [kWh]	$E_m$ [kWh]	$H_d$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	$H_m$ [kWh/m <sup>2</sup> ]
Leden	2,85	88,3	1,27	39,3
Únor	4,65	130	2,12	59,4
Březen	6,47	201	3,04	94,2
Duben	8,37	251	4,10	123
Květen	9,22	286	4,65	144
Červen	8,77	263	4,49	135
Červenec	9,41	292	4,84	150
Srpen	8,84	274	4,53	140
Září	7,22	217	3,58	107
Říjen	5,80	180	2,77	85,9
Listopad	2,62	78,6	1,20	36,1
Prosinec	1,89	58,5	0,84	26,2
Rok	6,35	193	3,13	95,1
Celkem za rok		2320		1140

$E_d$  – průměrná denní produkce elektřiny daného systému

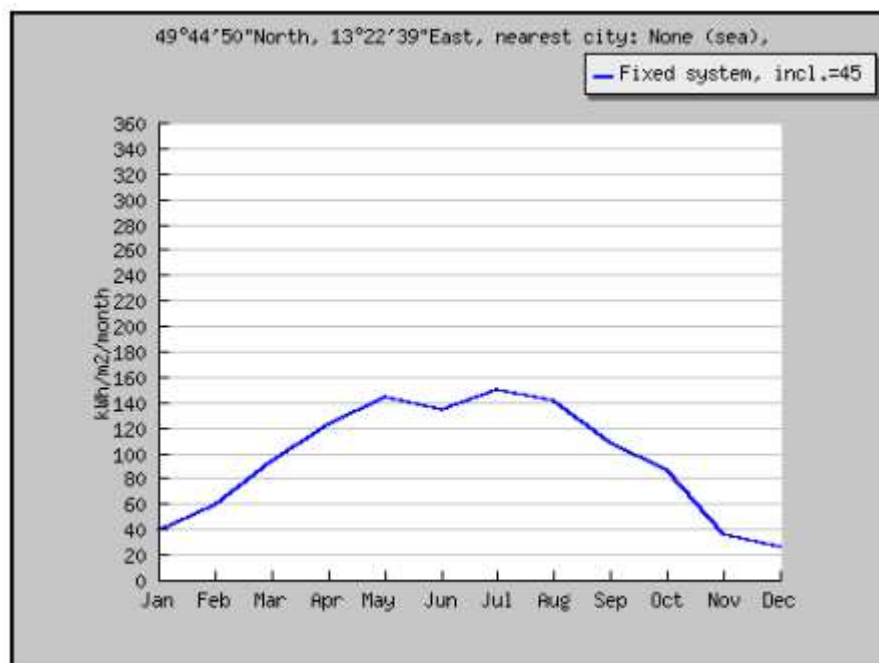
$E_m$  – průměrná měsíční produkce elektřiny daného systému

$H_d$  – průměrná suma denního globálního záření na jednotku plochy

$H_m$  – průměrná suma globálního záření na jednotku plochy



Obr. 7: Časová závislost výkonu FVE



Obr. 8: Časová závislost globálního záření na jednotku plochy

## 4.2. Inteligentní řízení vlastní sítě

Řízení celého systému zajišťuje Sunny Island 2224 - kombinovaný střídač s nabíječem baterií, který:

- vytváří vlastní síť - propojením zdrojů, spotřebičů, akumulátorů, připojením veřejné elektrické sítě nebo záložního zdroje
- udržuje napětí a frekvenci vlastní sítě
- připojuje zátěž podle potřeby
- reguluje nabíjení baterií
- reguluje výrobu při plném nabití baterií a nízké spotřebě
- připojuje veřejnou síť / záložní zdroj při nedostatku elektřiny z FVE nebo akumulátorů
- umožňuje snadné rozšiřování systému

Tab. 5: Parametry střídače Sunny Island 2224 [30]

<b>AC výstup (spotřebič)</b>	
Jmenovité AC napětí (nastavitelné)	230 V (202 V – 253 V)
Jmenovitá AC frekvence (nastavitelná)	50 Hz / 60 Hz (45 Hz – 65 Hz)
Trvalý AC výkon při 25 °C / 45 °C	2200 W / 1600 W
AC výkon při 25 °C na 30 min / 1 min / 3 s	2900 W / 3800 W / 3900 W
Jmenovitý AC proud / max. AC proud (špička)	9,6 A / 25 A na cca 500 ms
Harmonické zkreslení výstupního napětí / účinník ( $\cos \varphi$ )	< 4% / -1 až +1
<b>AC vstup (generátor nebo síť)</b>	
Vstupní napětí AC (rozsah)	230 V (172,5 V – 264,5 V)
Vstupní frekvence AC (rozsah)	50 Hz / 60 Hz (40 Hz – 70 Hz)
Max. vstupní proud (nastavitelný) / max. vstupní výkon	25 A (0 A – 25 A) / 5,75 kW
<b>DC vstup (baterie)</b>	
Napětí baterie (rozsah)	24 V (16,8 V – 31,5 V)
Max. nabíjecí proud baterie / trvalý nabíjecí proud při 25 °C	90 A / 80A
Typ baterie / kapacita baterie (rozsah)	Pb, NiCd / 100 – 10000 Ah
Regulace nabíjení	metoda IUoU

<b>Účinnost / vlastní spotřeba</b>	
Max. účinnost	93,6 %
Vlastní spotřeba bez zatížení / pohotovostní režim	21 W / 6 W
<b>Bezpečnostní a monitorovací zařízení</b>	
Ochrana proti DC přepólování / DC pojistka	— / —
AC zkrat / AC přetížení	ano / ano
Nadměrná teplota / hluboké vybití baterie	ano / ano
<b>Všeobecné údaje</b>	
Rozměry (Š / V / H) v mm	470 / 445 / 185
Hmotnost	19 kg
Rozsah provozních teplot	-25 °C až +60 °C
Stupeň krytí (podle normy IEC 60529)	venkovní instalace (IP 54)

### 4.3. Stanovení potřeby elektrické energie

V modelovém rodinném domě s průměrnou čtyřčlennou domácností je elektřina využívána pouze na provoz elektrospotřebičů. Spotřebiče byly vybírány s ohledem na úspornost provozu. Osvětlení využívá kompaktních zářivek, ještě úspornější variantou by však byla svítidla s LED, nicméně toto řešení je zatím stále velmi náročné na pořizovací náklady, proto nebylo zvoleno. Celkově se spotřebuje 1995 kWh elektrické energie za rok, resp. průměrně 5,47 kWh za den (viz Tab. 5).

Tab. 6: Spotřeba elektrické energie

Spotřebič (označení)	Příkon [W]	Doba používání	Spotřeba [kWh/rok]
El. trouba Gorenje BO5320AX (A++)	2700	3,5 h/týden	491
Pračka Electrolux EWT105410W(A+)	2300	2 h/týden	239
Vysavač Bosch BSGL 3223	2200	1,5 h/týden	172
Rychlovarná konvice ETA DANIA 3596 90000	1500	10 min/den	91
Mikrovlákná trouba Electrolux EMM 21150 W	1250	10 min/den	76
Televize Sencor SLT 24F34DVBT	60	1,5 h/den	33
Notebook	30	8 h/den	88
Komb. chladnička Bosch KDE 33AL40 (A++)	15,8	24 h/den	139
Osvětlení 6ks Osram 14 W Duluxstar E27	84	4 h/den	123
Osvětlení 8ks Osram 11 W Duluxstar E27	88	1 h/den	32
Ostatní spotřebiče	1400	1h/den	511
<b>Celková roční spotřeba</b>	<b>1995 kWh</b>		
<b>Průměrná denní spotřeba</b>	<b>5,47 kWh</b>		

Ze stanovené spotřeby a doby požadované akumulace se určí potřebná energie akumulátoru. Uvažovaný systém je pro případ dlouhodobého nedostatku energie připojen k veřejné síti, proto postačí dvoudenní akumulace. Dále je třeba započítat účinnost střídače Sunny Island 2224, která činí 93,6 %.

$$\text{Potřebná energie je tedy: } P = \frac{2 \cdot 5,47}{0,936} = 11,69 \text{ kWh}$$

#### 4.4. Aplikace vhodného způsobu akumulace

Ačkoli existují různé druhy akumulace elektrické energie, v podmínkách rodinných domů jich nelze reálně mnoho využít.

Nejvyužívanějším způsobem akumulace jsou přečerpávací elektrárny. Pro spotřebu jednoho rodinného domu je tato varianta příliš náročná a ekonomicky neefektivní.

Relativně novými systémy, které se ve světě začínají rozšiřovat pro akumulaci energie z větrných parků a velkých fotovoltaických elektráren, jsou setrvačníky a NaS baterie. Využití pro domácnosti však nemají.

Vývoj intenzivně probíhá v oblasti palivových článků a průtokových technologií, jako je vanadová redoxní baterie. V současné době lze jako záložní zdroj zakoupit baterii rakouského výrobce Cellcube FB 10-100 s energetickou kapacitou 100 kWh a jmenovitým výstupním výkonem 10 kW. Pro svůj výkon a kapacitu jsou pro jednotlivou domácnost nevyužitelné. Pořizovací náklady této baterie činí 2 619 999 Kč bez DPH (prodejce SOLARENVI a. s., 4/2012). Palivové články pro použití v domácnostech vyvinula např. firma Panasonic, ale vývoz do Evropy zatím ještě neprobíhá.

Sekundární elektrochemické zdroje jsou v současné době stále nejefektivnějším zařízením pro akumulaci elektrické energie v podmínkách malých instalací. Častější je využití různých typů olověných akumulátorů, další možností jsou nikl-kadmiové akumulátory. Kromě olověných a nikl-kadmiových akumulátorů bude navržena také varianta pro superkapacitory. Závěrem pak bude porovnání jednotlivých variant.



## 4.5. Návrh akumulátorů

- **Olověný akumulátor**

Potřebná energie k akumulaci je 11,69 kWh, jak bylo stanoveno na základě spotřeby. Napětí na vstupu do baterie 24 V je určeno použitým střídačem. Potřebná energetická kapacita je tudíž  $C = \frac{P}{U} = 11690/24 = 487 \text{ Ah}$ .

Staniční olověné akumulátory nelze vybíjet více než od 80 % jejich kapacity, jinak by docházelo k jejich poškození. Kapacita akumulátorové baterie se tudíž zvýší na 609 Ah.

Pro tuto variantu byly zvoleny bezúdržbové akumulátory OPzV 600 S od firmy Banner s elektrolytem navázaným v gelu. Jeden článek má jmenovité napětí 2 V a kapacitu 610 Ah (viz. Tab. 6). Potřebného napětí 24 V se dosáhne sériovým spojením dvanácti jednotlivých článků. Celkové investiční náklady činí 142 603 Kč.

Pozn.: dodavatel ENVI energy czech s.r.o (cenová nabídka 4/2012).

Tab. 7: Parametry jednoho článku OPzV 600 S [26]

článek OPzV 600 S	
Jmenovité napětí	2 V
$C_{10}$	610 Ah
$I_k$	4580 A
Konstrukční životnost v souběžném pohotovostním režimu	15 let
Celková hmotnost	50 kg
Délka	147 mm
Šířka	208 mm
Výška	685 mm

- **NiCd akumulátor**

Stejně jako v předchozím případě bude mít baterie napětí 24 V a potřebná kapacita bude činit také 609 Ah, protože se taktéž bere v úvahu vybíjení do 80 % kapacity. Byly zvoleny akumulátory firmy Hoppecke FNC 605 L, speciálně dimenzované pro akumulaci energie a jako nouzový zdroj. Mají vláknitou strukturu elektrod a při 80 % hloubce vybití dosahují životnosti minimálně 8000 cyklů. Elektrolyt se nemusí měnit po celou dobu životnosti. Volitelným příslušenstvím je systém AquaGen, který snižuje nároky na větrání a umožňuje provoz bez nutnosti dolévání elektrolytu.

Celá baterie se skládá z dvaceti jednotlivých článků FNC 605 L se jmenovitým napětím 1,2 V. Investiční náklady této varianty jsou 511 152 Kč (20 ks FNC 605 L), ve variantě se systémem AquaGen je cena 532 752 Kč (20 ks FNC 605 L + 20 ks AquaGen PTV).

Pozn.: dodavatel STAND BY ENERGY s.r.o. (cenová nabídka 4/2012).

Tab. 8: Parametry jednoho článku FNC 605 L [27]

článek FNC 605 L	
Jmenovité napětí	1,2 V
Kapacita	605 Ah
Životnost	3000 cyklů (25 let)
Celková hmotnost	24,2 kg
Délka	202 mm
Šířka	209 mm
Výška	405 mm

- **Superkapacitor**

Pro variantu akumulace pomocí superkapacitoru byl zvolen 16 V modul od firmy Maxwell Technologies s označením BMOD0500 P016 B02, který je vhodný jako záložní zdroj. Je schopen provozu v teplotním rozsahu  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  a dosahuje životnosti přes 1 000 000 cyklů.

Tab. 9: Parametry jednoho modulu superkapacitoru BMOD0500 P016 B02 [28]

modul BMOD0500 P016 B02	
Elektrická kapacita	500 F
Jmenovité napětí	16 V
Šířka	67,2 mm
Délka	416,2 mm
Výška	156,7 mm
Energetická kapacita	17,8 Wh



Obr. 9: Modul superkapacitoru BMOD0500 P016 B02 [28]

Pro požadovanou energii 11,69 kWh, se kterou bylo počítáno i v předchozích způsobech, bychom potřebovali sériově zapojit 657 jednotlivých superkapacitorů. Jednotlivý blok lze pořídit za 656,7 €, celková investice je tedy 431 451,9 €, tj. 10 680 592 Kč. Pozn.: dodavatel Mouser Electronics; kurz eura ČNB (26.4.2012)

## 5. Zhodnocení navrženého systému

### 5.1. Ekologické a energetické zhodnocení

Fotovoltaické elektrárny se považují za ekologický zdroj elektrické energie, který neprodukuje emise a životní prostředí nijak nezatěžuje. V případě velkých elektráren na „zelené louce“ však dochází ke zbytečnému záboru půdy, která by mohla být využita např. pro zemědělskou produkci. Celý životní cyklus fotovoltaických panelů zahrnuje kromě provozu nejprve těžbu potřebných surovin, jejich zpracování, zkompletování panelu, dále po skončení životnosti panelu jeho recyklaci.

Výroba panelů samozřejmě vyžaduje kromě vstupních surovin i dodávku elektrické energie, která pocházející z obnovitelných zdrojů nemusí. Výrobní proces zahrnuje přítomnost mnoha škodlivých látek, např. těžkých kovů (olovo, rtuť, kadmium apod.) a různých chemických sloučenin. Zdravotním rizikem pro zúčastněné pracovníky je zejména křemíkový prach, vznikající při řezání křemíkových krystalů, neboť při dlouhodobé expozici způsobuje silikózu – zanášení plic oxidem křemičitým, které se projevuje dušností nebo bolestmi hrudi při dýchání.

Většina fotovoltaických elektráren se nachází v počátečním období jejich životnosti, proto v současné době není otázka recyklace panelů příliš aktuální. Přesto však existují metody, jak vysloužilé panely zpracovat. Jedná se o termickou recyklaci (pro stávající panely z krystalického křemíku) a mechanicko-chemickou metodu (pro tenkovrstvé panely).

Při výrobě elektrické energie fotovoltaickou elektrárnou nevznikají žádné emise. Zamezí se tak emisím určitého množství znečišťujících látek (tuhé částice, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>), které by jinak vznikaly při výrobě elektřiny v uhelné elektrárně. Při výrobě 1MWh<sub>e</sub> elektrické energie hnědouhelnou elektrárnou vzniknou následující emise [31]:

Tab. 10: Emisní koeficienty výroby elektřiny v hnědouhelné elektrárně [31]

Tuhé látky [kg/MWh <sub>e</sub> ]	SO <sub>2</sub> [kg/MWh <sub>e</sub> ]	NO <sub>x</sub> [kg/MWh <sub>e</sub> ]	CO [kg/MWh <sub>e</sub> ]	CO <sub>2</sub> [kg/MWh <sub>e</sub> ]
3,000	5,300	7,700	0,650	1213,0

Pozn.: Uvažuje se 65 % odsíření SO<sub>2</sub> a tuhé látky při 98 % odlučivosti filtrů elektrárny

Navržená FVE vyrobí 2320 kWh elektrické energie za rok, dochází tedy k tomuto poklesu emisí:

Tab. 11: Pokles emisí hnědouhelné elektrárny v důsledku výroby 2320 kWh<sub>e</sub> fotovoltaickou elektrárnou

Tuhé látky	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>
6,97 kg/rok	12,30 kg/rok	17,86 kg/rok	1,51 kg/rok	2814,16 kg/rok

Olověné akumulátory obsahují ekologicky a zdravotně závadné látky (olovo, kyselina sírová), proto je nutné dodržovat bezpečný provoz a po skončení jejich životnosti je třeba nakládat s nimi jako s nebezpečným odpadem. Výrobci, distributoři a prodejci akumulátorů mají zákonem stanovené povinnosti pro nakládání s akumulátory. Důležitá je i odpovědnost uživatelů, aby využívali zpětný odběr akumulátorů. Motivací je to, že jsou od uživatelů vykupovány, protože lze použité materiály i po ukončení životnosti dobře využít. Zpětný odběr zajišťují samotní prodejci nebo dovozci, ale i firmy podnikající v odpadovém hospodářství. Akumulátory lze úspěšně recyklovat a získané olovo využít pro další výrobu akumulátorů.

Nikl-kadmiové baterie také podléhají zpětnému odběru a podobně jako u olověných akumulátorů je cílem jejich recyklace využití obsažených kovů pro další výrobu. Elektrolyt nikl-kadmiových akumulátorů (vodný roztok hydroxidu draselného) je silná zásada a je vůči lidské pokožce a živočišným tkáním a textilním vláknům velmi agresivní. Je tedy vhodné mít v zásobě neutralizační přípravek pro případ kontaktu s elektrolytem.

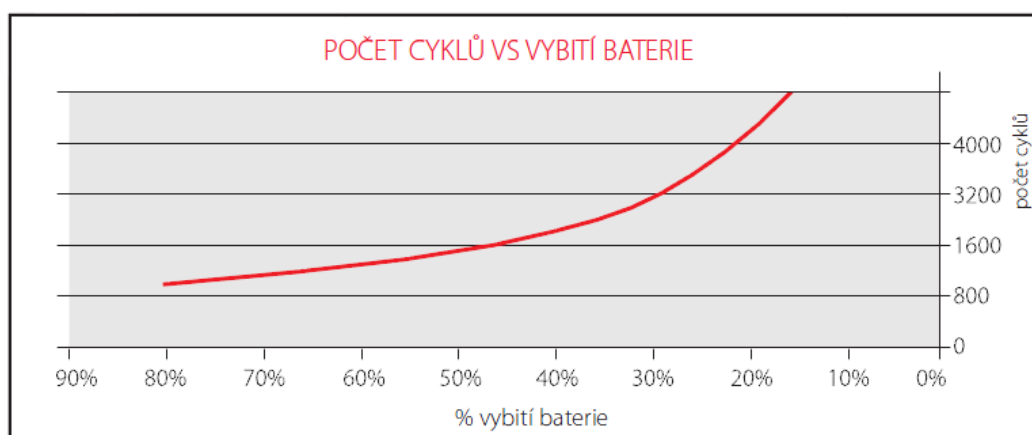
Veškerá elektrická energie, která se v navržené FVE vyrobí, je buď spotřebována při užívání rodinného domu, nebo je její přebytek ukládán do akumulátorů. Systém tak neovlivňuje distribuční síť.

## 5.2. Technicko - ekonomické zhodnocení akumulace

- **Olověný akumulátor**

Pro variantu baterie se dvanácti články typu OPzV 600 S s kapacitou 610 Ah jsou investiční náklady 142 603 Kč.

Udávaná konstrukční životnost baterie v souběžném pohotovostním režimu je 15 let. V cyklickém provozu je nižší a výrazně závisí na způsobu provozu, jak ukazuje následující graf. Reálná životnost je kolem 8 let.



Obr. 10: Závislost počtu cyklů baterie na stupni vybití [26]

Nároky na plochu pro uskladnění akumulátoru nejsou veliké, celá dvanáctičlávková baterie zabere podlahovou plochu 0,37 m<sup>2</sup>. Prostor, ve kterém se akumulátory uskladňují, musí mít zajištěno dostatečné odvětrávání. Důvodem je vznik vodíku a kyslíku při elektrolýze vody v elektrolytu, která je důsledkem proudu nevyužitého pro nabíjení elektrod. Tyto dva plyny spolu tvoří při vysokých teplotách nebo při zajištění výbušnou směs. Potřebný průtok vzduchu se vypočítá dle uvedeného vzorce [3]:

$$Q = 0,05 \cdot n \cdot I_{gas} \cdot C_{rt} \cdot 10^{-3}$$

kde:  $Q$  – průtok vzduchu potřebného pro větrání [m<sup>3</sup>/h]

0,05 – činitel bezpečnosti

$n$  – počet článků v baterii

$I_{gas}$  – proud plynování [mA/Ah] (tabelované hodnoty)

$C_{rt}$  – kapacita  $C_{10}$  [Ah] při vybíjení do konečného napětí  $U_f=1,8$  V/čl. pro olovené akumulátory, resp.  $C_5$  [Ah] při vybíjení do konečného napětí  $U_f=1,00$  V/čl. pro NiCd akumulátory, za teploty  $20$  °C

Pro navrženou kapacitu je průtok vzduchu

$$Q = 0,05 \cdot 12 \cdot 8 \cdot 610 \cdot 10^{-3} = 2,93 \text{ m}^3/h$$

Větrání má být ideálně přirozené, do venkovního prostoru. Při umístění větracích otvorů v nejvyšším a nejnižším místě prostoru je předpokládaná rychlost proudění vzduchu otvory  $0,1$  m/s. Velikost větracích otvorů určuje vzorec:  $A = 28 Q$  [ $\text{cm}^3$ ], pro tuto variantu je hodnota volného průřezu otvoru pro přívod a odvod vzduchu  $A = 82 \text{ cm}^3$ .

- **NiCd akumulátor**

Tato varianta obsahuje dvacet kusů akumulátoru FNC 605 L (kapacita 605 Ah). Investiční náklady jsou 511 152 Kč. Životnost je výrazně vyšší než u předchozí varianty, až 3000 cyklů při hloubce vybití 80 %. Uvažovaná životnost vyjádřená v čase bude 20 let. V tomto případě se nejedná o bezúdržbovou baterii, ale musí se doplňovat voda v elektrolytu.

Čistá podlahová plocha pro baterii je  $0,51 \text{ m}^2$ . Průtok větracího vzduchu:

$$Q = 0,05 \cdot 20 \cdot 50 \cdot 605 \cdot 10^{-3} = 30,25 \text{ m}^3/h$$

Velikost větracích otvorů je  $A = 847 \text{ cm}^3$ .

- **NiCd akumulátor s příslušenstvím AquaGen**

Rozdílem oproti předchozí variantě, obsahující pouze akumulátory FNC 605 L, je využití i volitelného příslušenství AquaGen, který navýší cenu o 18 000 Kč bez DPH. Celkové náklady na 20 ks FNC 605 L a 20 ks AquaGen PTV činí 532 752 Kč. Systém AquaGen nezabírá navíc žádnou plochu, protože je nasazený na víko akumulátoru. Průtok vzduchu a velikost větracích otvorů je totožný s předchozí variantou, ale systém AquaGen nároky na větrání snižuje.

- **Superkapacitor**

Celkové potřebné množství 657 superkapacitorů BMOD0500 P016 B02 zabírá podlahovou plochu  $18,38 \text{ m}^2$ . Celková investice je 10 680 592 Kč.

### Celkové porovnání

Srovnání akumulátorů uvádí Tab. 9. Varianta se superkapacitory je kvůli značným investičním nákladům zcela nereálná, i když v její prospěch hovoří životnost udávaná v 1 000 000 cyklech. Reálné využití superkapacitorů je v systémech s jiným záložním zdrojem energie, který se pomalu rozbíhá a po tento čas by energii dodávaly právě superkapacitory.

Tab. 12: Porovnání jednotlivých variant akumulace

varianta	<b>20x OPzV 600 S</b>	<b>20x FNC 605 L</b>	<b>20x (FNC 605 L + AquaGen PTV)</b>
kapacita	610 Ah	605 Ah	605 Ah
životnost	8 let	20 let	20 let
investiční náklady	142 603 Kč	511 152 Kč	532 752 Kč
investice vztahená na rok provozu	17 826 Kč	25 558 Kč	26 638 Kč
provoz	bezúdržbový	údržba – dolévání vody	bezúdržbový
výhody	- nízká pořizovací cena - vyšší měrný výkon	- delší životnost - větší odolnost proti přebíjení	- delší životnost - větší odolnost proti přebíjení
nevýhody	- poškozování hlubokým vybitím	- nutnost údržby - investičně náročné	- investičně náročné
průtok větracího vzduchu	2,93 m <sup>3</sup> /h	30,25 m <sup>3</sup> /h	30,25 m <sup>3</sup> /h pozn.: AquaGen nároky snižuje
volný průřez větracího otvoru	82 cm <sup>2</sup>	847 cm <sup>2</sup>	847 cm <sup>2</sup> pozn.: AquaGen nároky snižuje

## **Závěr**

Cílem diplomové práce bylo navržení vhodného způsobu akumulace pro rodinný dům, vybavený fotovoltaickou elektrárnou o výkonu 2,5 kWp. Nejprve jsem navrhla samotnou fotovoltaickou elektrárnu. Dále jsem zvolila tři varianty akumulace elektrické energie – do olověného akumulátoru, nikl-kadmiového akumulátoru a do superkapacitoru.

Z řešení diplomové práce vyplývá, že akumulace energie do superkapacitoru není pro pokrytí spotřeby rodinného domu na delší období vůbec reálná. Olověný akumulátor je variantou nejlevnější, avšak musí se dbát zejména na to, aby nedocházelo k hlubokému vybití a aby akumulátor nebyl ponecháván ve vybitém stavu, protože by mohlo dojít k jeho nevratnému poškození. Nikl-kadmiové akumulátory mají delší životnost, snáší dobře vybitý stav, jsou však ekonomicky náročnější. Stojící baterie zabírají relativně malou podlahovou plochu. Důležité je uvědomit si, že prostor s akumulátory je nutný odvětrávat a dimenzovat ho tak, aby byl zajištěn dostatečný průtok větracího vzduchu. Nikl-kadmiové akumulátory mají nároky na objem větracího vzduchu řádově větší než olověné akumulátory. Vhodným doplňkem pro nikl-kadmiové akumulátory je systém AquaGen, který potřebu větrání snižuje a zajišťuje bezúdržbový provoz tím, že není potřeba dolévat vodu.

V časovém horizontu několika dalších let by měly být na trhu běžně k dostání palivové články, vhodné pro akumulaci energie z obnovitelných zdrojů a také lze předpokládat další vývoj vanadových redoxních baterií. Zatím však efektivním způsobem akumulace pro rodinné domy stále zůstávají klasické akumulátory.



## Použité zdroje

- [1] **Škorpil, J., Kasárník, M.:** *Obnovitelné zdroje energie I - vodní elektrárny*. Plzeň: Vydavatelství Západočeské univerzity, 2000. 126 s. ISBN 80-7082-675-4
- [2] **Huggins, R. A.:** *Energy Storage*. New York: Springer, 2010. eISBN 978-1-4419-1024-0
- [3] **Cenek, M. a kol.:** *Akumulátory od principu k praxi*. Praha: FCC Public, 2003. 248 s. ISBN 80-86534-03-0
- [4] **Doležel, I.:** *Elektrochemie*. Plzeň: Vydavatelství Západočeské univerzity, 1998. 161 s. ISBN 80-7082-410-7
- [5] **Štorek, O.:** *Vlastnosti uhlíkových materiálů pro elektrody superkondenzátorů* (Diplomová práce). Brno: VUT, 2009. 71 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. M. Sedlaříková, CSc.
- [6] **Kabeš, K.:** *Adiabatická tlakovzdušná akumulární elektrárna*. Elektro [online]. č. 6. Praha: FCC Public, 2011. [cit. 30.1.2012]. ISSN 1210-0889. <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/43684.pdf>>
- [7] **Mareš, J., Libra, M., Poulek, V.:** *Akumulace elektrické energie*. Elektro [online]. č. 2. Praha: FCC Public, 2011. [cit. 4.2.2012]. ISSN 1210-0889. <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/42869.pdf>>
- [8] **Doucek, A., Janík, L.:** *Úvod do vodíkového hospodářství*. Pro-Energy magazín [online]. č. 3. Praha: Stenella, 2009. [cit. 9.2.2012]. ISSN 1802-4599. <<http://www.pro-energy.cz/clanky11/4.pdf>>
- [9] **Mašek, Z., Gregora, S., Michl, J., Dvořák, K.:** *Superkapacitory v dopravní technice*. Vědeckotechnický sborník ČD [online]. č.25. 2008 [cit. 4.2.2012]. <<http://www.cd rail.cz/vts/CLANKY/vts25/2511.pdf>>
- [10] **Dvořák, P.:** *Superkondenzátory* (Elektrochemické kondenzátory) [online]. 2010 [cit. 5.2.2012] <<http://energie.tzb-info.cz/teorie-obnovitelna-energie/6710-superkondenzatory>>
- [11] **Šváb, M.:** *Trendy ve vývoji vodíkového hospodářství ve světě a možnosti uplatnění v České republice*. Česká energetická agentura [online]. 2006 [cit. 9.2.2012] <<http://www.mpo-efekt.cz/dokument/01.pdf>>

- [12] **Jirsa, M.:** *Supravodivost – naděje pro 21. století*. Fyzikální ústav AV ČR [online]. 2010 [cit. 7.2.2012]  
<<http://www.fzu.cz/popularizace/supravodivost-nadeje-pro-21-stoleti>>
- [13] **Electricity Storage Association** [online]. 2011 [cit. 30.1.2012]  
<[http://www.electricitystorage.org/technology/storage\\_technologies/pumped\\_hydro/](http://www.electricitystorage.org/technology/storage_technologies/pumped_hydro/)>
- [14] **Beacon Power Corporation** [online]. 2012 [cit. 1.2.2012]  
<<http://www.beaconpower.com/products/about-flywheels.asp>>
- [15] **PEES Power Electronic & Embedded Systems Technologies: NaS a NaNiCl akumulátory** [online]. 2011 [cit. 16.2.2012]  
<[http://www.pees.sk/index.php?option=com\\_content&view=article&id=10&Itemid=16](http://www.pees.sk/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=16)>
- [16] **Electropaedia - Battery and Energy Technologies: Fuel Cell Comparison Chart** [online]. 2005 [cit. 25.2.2012]  
<[http://www.mpoweruk.com/fc\\_comparison.htm](http://www.mpoweruk.com/fc_comparison.htm)>
- [17] **Pléha, D.:** *Vanadové redoxní baterie* [online]. 2011 [cit. 26.2.2012]  
<<http://www.chempoint.cz/vanadove-redoxni-baterie>>
- [18] **Vanadium Redox Battery** [online]. [cit. 28.2.2012]  
<<http://www.ceic.unsw.edu.au/centers/vrb/home.html>>
- [19] **European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy. Photovoltaic Geographical Information System** [online]. 2012 [cit. 28.3.2012]  
<<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>>
- [20] **Česká agentura pro obnovitelné zdroje energie. Fotovoltaika** [online]. 2012 [cit. 28.3.2012]  
<<http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika#clanek>>
- [21] **IT serve. Fotovoltaické systémy** [online]. 2011 [cit. 28.3.2012]  
<<http://www.itserve.cz/index.php/fotovltaicke-elektrarny/fotovoltaika>>
- [22] **Solarnimoduly.cz** [online]. 2011 [cit. 29.3.2012]  
<<http://www.solarnimoduly.cz/jaky-solarni-regulator.html>>
- [23] **Menice-napeti.cz** [online]. 2010 [cit. 29.3.2012]  
<<http://www.menice-napeti.cz/rozdeleni-menicu-napeti.html>>
- [24] **Ústav fyziky atmosféry AV ČR. Větrná mapa** [online]. 2010 [cit. 1.4.2012]  
<<http://www.ufa.cas.cz/vetrna-energie/>>

- [25] **Energetický regulační úřad** [online]. 2012 [cit. 6.4.2012]  
<<http://www.eru.cz>>
- [26] **Akumulator-Baterie.cz** [online]. [cit. 22.4.2012]  
<<http://akumulator-baterie.cz/cell-opzv/82-6-opzv-600-s.html>>
- [27] **Hoppecke** [online]. 2012 [cit. 22.4.2012]  
<<http://www.hoppecke.com>>
- [28] **Maxwell Technologies** [online]. 2012 [cit. 24.4.2012]  
<<http://www.maxwell.com>>
- [29] **Schüco** [online] 2012. [cit. 29.3.2012] <<http://www.schueco.com>>
- [30] **SMA Solar Technology** [online] 2012. [cit. 24.4.2012]  
<<http://www.sma-czech.com>>
- [31] **Srdečný, K., Truxa, J.:** *Obnovitelné zdroje energie v jižních Čechách a Horním Rakousku*. Praha: EkoWATT, 2000. 77s.

## Přílohy

### Příloha č. 1: Výstup z programu PVGIS pro navrženou FVE



Photovoltaic Geographical Information System

European Commission  
Joint Research Centre  
Ispra, Italy

#### Performance of Grid-connected PV

##### PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 49°44'50" North, 13°22'39" East, Elevation: 0 m a.s.l.,

Nominal power of the PV system: 2.5 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature: 7.8% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.9%

Other losses (cables, inverter etc.): 8.0%

Combined PV system losses: 17.7%

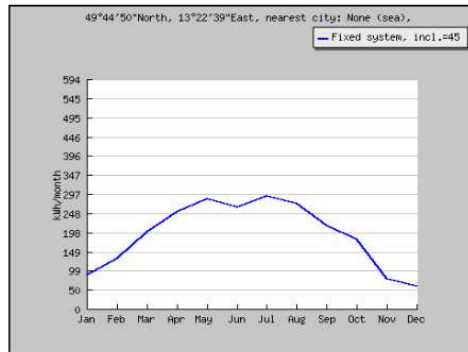
Fixed system: inclination=45 deg., orientation=0 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	2.85	88.3	1.27	39.3
Feb	4.65	130	2.12	59.4
Mar	6.47	201	3.04	94.2
Apr	8.37	251	4.10	123
May	9.22	286	4.65	144
Jun	8.77	263	4.49	135
Jul	9.41	292	4.84	150
Aug	8.84	274	4.53	140
Sep	7.22	217	3.58	107
Oct	5.80	180	2.77	85.9
Nov	2.62	78.6	1.20	36.1
Dec	1.89	58.5	0.84	26.2
Year	6.35	193	3.13	95.1
Total for year		2320		1140

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

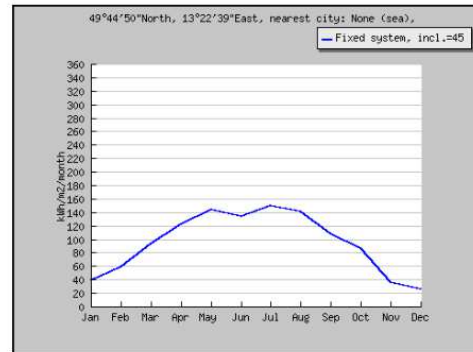
Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

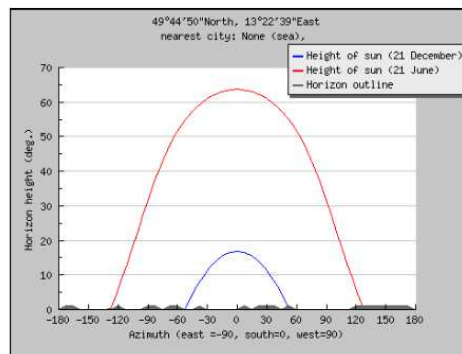
Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)



Monthly energy output from fixed-angle PV system



Monthly in-plane irradiation for fixed angle



Outline of horizon with sun path for winter and summer solstice

PVGIS (c) European Communities, 2001-2008  
Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.  
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Disclaimer:

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. However the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

This information is:

- of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity;
- not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date;
- not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).

Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

Příloha č. 2: Schéma možného zapojení střídače Sunny Island 2224

