

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

**BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING**

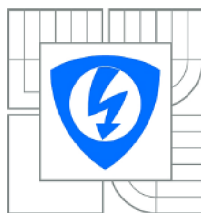
**KOOPERACE FOTOVOLTAICKÉHO A  
VĚTRNÉHO ZDROJE ENERGIE A  
AKUMULACE VYROBENÉ ENERGIE**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS**

**AUTOR PRÁCE  
AUTHOR**

**JAN BRŠŤÁK**

**BRNO 2013**



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

## Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

**Student:** Jan Bršňák  
**Ročník:** 3

**ID:** 125098  
**Akademický rok:** 2012/2013

### NÁZEV TÉMATU:

**Návrh autonomního zdroje energie s fotovoltaickým a větrným zdrojem**

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Obecný úvod do systémů využívající více kooperujících zdrojů elektrické energie.
2. Charakteristika fotovoltaických a větrných systémů.
3. Možnosti akumulace elektrické energie u grid-on a grid-off systémů (vč. výhody a nevýhody).
4. Stanovení vstupních veličin a parametrů nutných pro návrh autonomního (grid-off) zdroje v dané lokalitě.
5. Technický návrh, výpočet a popis autonomního systému využívající fotovoltaický a větrný zdroj energie se zvoleným druhem akumulace.
6. Návrh provozních modelových situací a jejich provedení.
7. Provedení zjednodušené cenové kalkulace navrženého systému.
8. Zhodnocení uplatnění navrženého systému v budoucnosti a teoretické zhodnocení potenciálu naakumulované energie v případě připojení obdobných systémů do distribuční sítě.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Je vhodné využít odborných článků databází IEEE, Web of Science a jiné. Další literatura je stanovena dle pokynů vedoucího práce.

**Termín zadání:** 11.2.2013

**Termín odevzdání:** 31.5.2013

**Vedoucí práce:** Ing. Michal Ptáček

**Konzultanti bakalářské práce:**

**doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

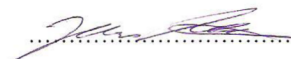
### UPOZORNĚNÍ:

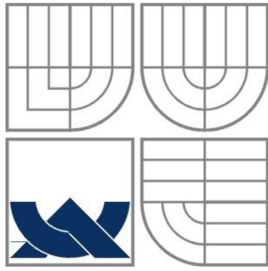
Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných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

Bibliografická citace práce:

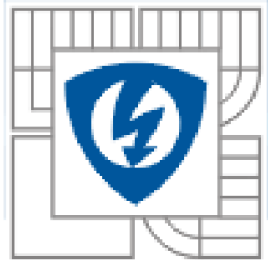
JAN BRŠŤÁK, Návrh autonomního zdroje energie s fotovoltaickým a větrným zdrojem. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2013, 49 stran.

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





**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**



**Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií  
Ústav elektroenergetiky**

**Bakalářská práce**

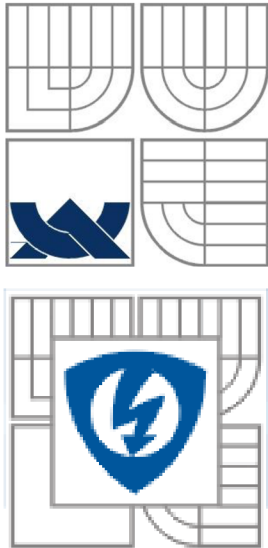
**KOOPERACE FOTOVOLTAICKÉHO A  
VĚTRNÉHO ZDROJE ENERGIE A  
AKUMULACE VYROBENÉ ENERGIE**

**Jan Bršťák**

**vedoucí: Ing. Michal Ptáček**

**Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2013**

**Brno**



**BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

**Faculty of Electrical Engineering and Communication  
Department of Electrical Power Engineering**

**Bachelor's Thesis**

**DESIGN OF AUTONOMOUS ENERGY SOURCE WITH  
PHOTOVOLTAIC AND WIND POWER SOURCES**

**by**

**Jan Bršťák**

**Supervisor: Ing. Michal Ptáček**

**Brno University of Technology, 2013**

**Brno**

**ABSTRAKT**

Schopnost akumulovat elektrickou energii je jednou z nejdůležitější a nejvíce se rozvíjející se oblastí v energetice. Současným problémem výroby elektrické energie z fotovoltaických zdrojů jsou kolísavé výkony dané množstvím slunečního záření dopadajícího na fotovoltaický panel a u větrných zdrojů jsou jejich kolísavé výkony způsobené povětrnostními podmínkami v dané oblasti. Tato jejich nevýhoda může způsobovat různé problémy v distribuční soustavě (zvláště jsou-li do distribuční soustavy dodávány vysoké výkony, platí pro systémy grid-on). Hybridní soustava (fotovoltaická elektrárna + větrná elektrárna) a akumulace elektrické energie z větší části řeší problémy výkyvů jejich výkonů, protože se navzájem doplňují. Tato práce je zaměřena na návrh a popis fotovoltaického a větrného zdroje a jejich akumulaci elektrické energie. Jedna z částí práce je určena k popisu známých a používaných akumulátorů elektrické energie. Dále je zde obecný návrh kooperujícího fotovoltaického a větrného zdroje, respektive jeho zhodnocení ve vztahu k distribuční soustavě. Závěrem je zhodnoceno použití hybridního systému (fotovoltaická elektrárna + větrná elektrárna) v praxi, jeho výhody a nevýhody.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** Elektrická energie; fotovoltaický článek; větrný zdroj; hybridní soustava; akumulátor elektrické energie; grid-on systém; grid-off systém;

**ABSTRACT**

The ability to accumulate electric power is one of the most important and the most developing field in power engineering. Contemporary problems of electric power production from photovoltaic and wind sources are their varying outputs set by the weather conditions. These disadvantages can cause various problems (particularly there are supplied outputs into distributional system that runs for on-grid systems). The hybrid system (photovoltaic + wind sources) and the accumulation of electric power solve the problems of their output fluctuation because they complement each other. This Bachelor's Thesis is focused on the basic description of photovoltaic and wind sources and their electric power accumulation. One of the chapters is intended for the description of well-known and used electric power accumulators. There is also a general suggestion of cooperating photovoltaic and wind sources and its evaluation in the relationship to the distributional system. In the conclusion, there are evaluations of the hybrid system (photovoltaic + wind sources) used in praxis. There are also mentioned their advantages and disadvantages.

**KEY WORDS:**

Electric power; photovoltaic segment; wind source; hybrid system; electric power accumulator; system grid-on; system grid-off,

## OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	10
SEZNAM TABULEK .....	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	12
1 ÚVOD .....	14
1 CHARAKTERISTIKA FOTOVOLTAICKÝCH ZDROJŮ ELEKTRICKÉ ENERGIE .....	15
1.1 DĚLENÍ FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN PODLE ZPŮSOBU POUŽITÍ .....	16
1.1.1 SYSTÉMY NEZÁVISLÉ NA ROZVODNÉ SÍTI (GRID-OFF).....	16
1.1.2 SÍŤOVÉ FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY (GRID-ON).....	16
1.1.3 SYSTÉMY S PŘÍMÝM NAPÁJENÍM .....	16
1.1.4 SYSTÉMY S AKUMULACÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE .....	16
1.1.5 HYBRIDNÍ SYSTÉMY .....	17
1.2 VÝHODY A NEVÝHODY SLUNEČNÍCH ZDROJŮ ENERGIE .....	17
2 CHARAKTERISTIKA VĚTRNÝCH ZDROJŮ ELEKTRICKÉ ENERGIE.....	18
2.1 DĚLENÍ VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN [1], [14].....	18
2.1.1 ROZDĚLENÍ PODLE AERODYNAMICKÉHO PRINCIPU [5], [14] .....	19
2.1.2 SYSTÉM NATÁČENÍ DO SMĚRU PROUDĚNÍ VĚTRU [5], [14] .....	19
2.1.3 REGULACE VÝKONU [1], [14] .....	19
2.1.4 GENERÁTORY [5], [14].....	19
2.2 VÝHODY A NEVÝHODY VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN.....	20
3 AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE .....	21
3.1 AKUMULÁTORY OLOVĚNÉ.....	21
3.1.1 DĚLENÍ OLOVĚNÝCH AKUMULÁTORŮ .....	21
3.2 AKUMULÁTORY ALKALICKÉ .....	22
3.3 AKUMULÁTORY LITHIUM-IONTOVÉ .....	22
3.4 AKUMULÁTORY PRŮTOKOVÉ .....	22
3.5 SUPERKONDENZÁTORY (ULTRAKONDENZÁTORY) .....	22
3.6 AKUMULÁTOR SODÍK-SÍRA.....	23
4 STANOVENÍ VSTUPNÍCH VELIČIN A PARAMETRŮ AUTONOMNÍHO (GRID-OFF) ZDROJE. ....	25
4.1 CHARAKTERISTIKA OBJEKTU .....	25
4.2 PARAMETRY NUTNÉ PRO NÁVRH AUTONOMNÍHO ZDROJE.....	25
5 TECHNICKÝ NÁVRH, VÝPOČET A POPIS AUTONOMNÍHO SYSTÉMU .....	29
5.1 VNITŘNÍ ZTRÁTY NA JEDNOTLIVÝCH PRVCÍCH SYSTÉMU.....	29
5.2 NÁVRH FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ .....	30
5.2.1 VÝPOČET PRO DENNÍ PROVOZ V OBDOBÍ BŘEZEN AŽ ZÁŘÍ .....	30
5.2.2 VÝPOČET PRO VÍKENDOVÝ PROVOZ .....	31
5.3 NÁVRH VĚTRNÉHO ZDROJE .....	32



---

5.4 NÁVRH AKUMULÁTORŮ PRO OSTROVNÍ SYSTÉM VYUŽÍVAJÍCÍ FOTOVOLTAICKOU A VĚTRNOU ELEKTRÁRNU.....	34
6 MODELOVÉ SITUACE .....	36
6.1 PARAMETRY PRO VÍKENDOVÝ PROVOZ S ČERPÁNÍM UŽITKOVÉ VODY .....	36
6.2 VÝPOČET PRO VÍKENDOVÝ PROVOZ S ČERPÁNÍM UŽITKOVÉ VODY .....	38
6.3 VÝPOČET AKUMULÁTORŮ PRO VÍKENDOVÝ PROVOZ S ČERPÁNÍM UŽITKOVÉ VODY .....	40
6.4 VÝPOČET PRO DENNÍ PROVOZ S ČERPÁNÍM UŽITKOVÉ VODY .....	40
7 REKAPITULACE NAVRŽENÝCH OSTROVNÍCH SYSTÉMŮ.....	42
7.1 VÍKENDOVÝ PROVOZ BEZ DOMÁCÍ VODÁRNY NA ČERPÁNÍ UŽITKOVÉ VODY ZE STUDNY .....	42
7.2 VÍKENDOVÝ PROVOZ S DOMÁCÍ VODÁRNOU NA ČERPÁNÍ UŽITKOVÉ VODY ZE STUDNY .....	42
7.3 CELOROČNÍ (DENNÍ) PROVOZ PŘI ZACHOVÁNÍ STEJNÉHO ODBĚRU ELEKTRICKÉ ENERGIE .....	43
8 CENOVÁ KALKULACE NAVRŽENÝCH SYSTÉMŮ .....	44
8.1 POŘIZOVACÍ NÁKLADY OSTROVNÍHO SYSTÉMU BEZ DOMÁCÍ VODÁRNY PRACUJÍCÍHO VE VÍKENDOVÉM REŽIMU .....	44
8.2 POŘIZOVACÍ NÁKLADY OSTROVNÍHO SYSTÉMU VČETNĚ DOMÁCÍ VODÁRNY PRACUJÍCÍHO VE VÍKENDOVÉM REŽIMU .....	44
8.3 POŘIZOVACÍ NÁKLADY OSTROVNÍHO SYSTÉMU VČETNĚ DOMÁCÍ VODÁRNY PRACUJÍCÍHO VE VÍKENDOVÉM REŽIMU .....	45
8.4 VÝBĚR VHODNÉHO SYSTÉMU .....	45
9 ZHODNOCENÍ NAVRŽENÉHO SYSTÉMU .....	46
10 ZÁVĚR.....	47
POUŽITÁ LITERATURA .....	48

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 2-1 Princip činnosti fotovoltaického článku, modifikováno z [18].....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 3-1 Závislost účinnosti na životnosti akumulátorů, modifikováno z [8].....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 3-2 Závislost specifické hustoty energie na objemové hustotě energie, modifikováno z [8].</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 4-1 Spotřeba elektrické energie horské chaty.....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 5-1 Porovnání výroby a spotřeby elektrické energie z FVE ASEC235G6.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 5-2 Výkonová charakteristika větrné elektrárny VTE200.H1, modifikováno z [15] .....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 5-3 Přírůstky energie FVE a VTE v porovnání se spotřebou elektrické energie .....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 5-4 Přírůstky energie FVE a VTE v porovnání se spotřebou elektrické energie .....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 6-1 Sečtené přírůstky energie FVE a VTE v porovnání se spotřebou elektrické energie .....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 6-2 Jednotlivé přírůstky energie FVE a VTE v porovnání se spotřebou elektrické energie ..</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 6-3 Výkonová charakteristika větrné elektrárny VTE300.H1, modifikováno z [15] .....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 6-4 Jednotlivé přírůstky energie FVE a VTE v porovnání se spotřebou elektrické energie ..</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 6-5 Jednotlivé přírůstky energie FVE a VTE v porovnání se spotřebou elektrické energie ..</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 8-1 Přehledové schéma zapojení vybraného ostrovního systému.....</i>	<i>45</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 4-1 Seznam spotřebičů v horské chatě .....</i>	<i>26</i>
<i>Tab. 4-2 Předpokládaná spotřeba v měsíci a roce.....</i>	<i>26</i>
<i>Tab. 4-3 Sluneční záření v dané lokalitě pro fotovoltaický panel ASEC235G6M polykrystalický</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 4-4 Roční údaje o rychlosti větru v 8m nad zemí.....</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 5-1 Výkon větrné elektrárny odečtený z výkonové charakteristiky VTE 200.H1 .....</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 6-1 Seznam spotřebičů v horské chatě s domácí vodárnou.....</i>	<i>36</i>
<i>Tab. 6-3 Výkon větrné elektrárny odečtený z výkonové charakteristiky VTE300.H1 .....</i>	<i>39</i>

## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

$C_B$	kapacita akumulátorů	Ah
$DOD_{max}$	hloubka vibilití akumulátorů	%
$E_A$	ztráty energie akumulátoru	Wh
$E_C$	ztráty energie měniče	Wh
$E_{2dny}$	energie pro dvoudenní provoz	Wp
$E_{FV}$	energie FV panelů	Wp
$E_K$	ztráty energie na kabelech a svorkách	Wh
$E_M$	ztráty energie na MPPT střídači	Wh
$E_P$	energie 1Wp FV panelu	Wh
$E_W$	ztráty energie na střídači	Wh
$E_Z$	energie spotřebovávaná zátěží	Wh
n	dny bez dobíjení akumulátorů	-
$T_{CF}$	teplotní korekční faktor	-
$V_B$	napětí akumulátorů	V
$\eta_A$	účinnost akumulátoru	%
$\eta_B$	účinnost akumulátorů	%
$\eta_K$	účinnost kabelů a svorek	%
$\eta_M$	účinnost MPPT střídače	%
$\eta_W$	účinnost na střídači	%
$M_{FV}$	počet FV panelů	ks
FVE	fotovoltaika	
FVS	fotovoltaický systém	
VTE	větrná elektrárna	
MPPT	maximální bod výkonu	
DS	distribuční soustava	

---

CAES	přečerpávací vodní elektrárny a akumulace energie založená na stlačeném vzduchu
Na-S	sodíko-sírový akumulátory
Ni-Cd	nikl-kadmiové akumulátory
Li-ion	lithium-iontové akumulátory
PN	polovodičový přechod
UT	užitková voda
TUV	teplá užitková voda

# 1 ÚVOD

V současné době je elektrická energie běžnou součástí našich životů, proto je na její výrobu a ekonomickou spotřebu kladen stále větší důraz. Hledají se stále účinnější metody k jejímu získávání s co nejefektivnějším a také přijatelným způsobem s ohledem na životní prostředí. Do této kategorie patří také sluneční (fotovoltaické), větrné, vodní, přílivové elektrárny, elektrárny využívající geotermální energii a elektrárny využívající k výrobě elektrické energie spalování biomasy.

Tyto elektrárny patří mezi ekologické výrobce elektrické energie. Avšak všichni tito výrobci elektrické energie jsou závislí na různých limitujících faktorech, které ovlivňují plynulou výrobu elektrické energie, což ovlivňuje jejich účinnost a stabilitu dodávky elektrické energie. U fotovoltaických elektráren to je nestálá doba a intenzita slunečního záření, u větrných elektráren nestálost povětrnostních podmínek, u vodních elektráren závislost na spádu a množství protékající vody, u přílivových elektráren je to špatná regulovatelnost produkované energie atd. [1]. Pro lepší účinnost těchto elektráren s ohledem na jejich kolísavé výkony se tyto zdroje sdružují a vytváří kooperující zdroje, u kterých je výhodné, přinejmenším část jejich vyráběné energie vzhledem k jejich kolísavým výkonům, akumulovat.

Tato práce je zaměřena na návrh a popis těchto dvou výrobců elektrické energie a na akumulaci elektrické energie z těchto zdrojů. Právě akumulace elektrické energie je současným energetickým problémem. I při dnešní technické vyspělosti a znalosti uchování elektrické energie v jakékoli podobě, naráží současná věda na problémy týkající se doby uchování elektrické energie, hustoty uchování elektrické energie, velikostí a hmotností akumulátorů, vysoké provozní teploty (u akumulátorů NaS) [14], ekologické nezávadnosti a likvidace akumulátoru elektrické energie. Cílem je ukázat, že kooperace a akumulace elektrické energie z těchto dvou zdrojů výrazně ovlivňuje svoji nestabilitu vyráběné elektrické energie.

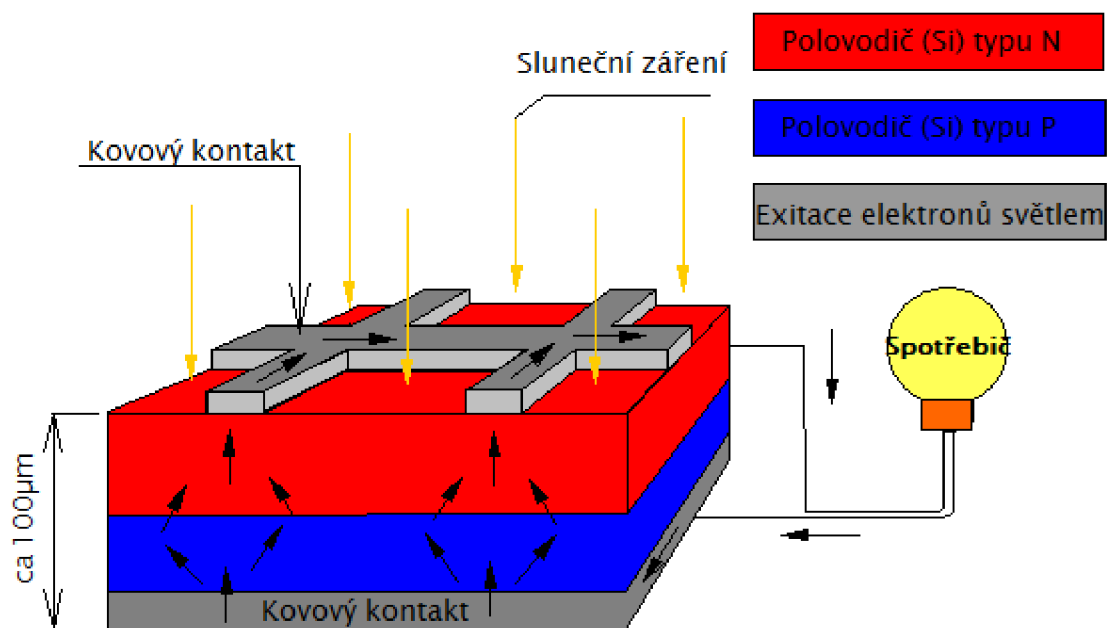
Další část této práce se zabývá obecným návrhem kooperujících zdrojů (fotovoltaické elektrárny a větrné elektrárny) s možností akumulace elektrické energie. Tyto systémy využívají jak sluneční, tak i větrnou energii k získání elektrické energie. U těchto dvou obnovitelných zdrojů máme na výběr dvě varianty, jak elektrickou energii využívat. Jedná se o variantu systémů grid-on (síťové systémy). Tento systém využívá připojení k elektrické síti (DS). Další variantou jsou systémy grid-off (ostrovní systémy), které jsou zcela autonomní a vyžadují akumulaci elektrické energie pro překlenutí období, kdy výrobci elektrické energie (fotovoltaické a větrné zdroje) nejsou schopni elektrickou energii vyrábět např. v zimním období nebo při špatných povětrnostních podmínkách.

Závěr této práce se týká zhodnocení naakumulované energie s ohledem na distribuční soustavu.

Tato práce obsahuje ekonomické posouzení těchto systémů. Nezabývá se však ekonomickou rentabilitou, i když z praxe víme, že ostrovní systémy jsou z ekonomického hlediska jedny z nejnáročnějších systémů. Používají se pouze tam, kde není možné připojení k distribuční soustavě nebo jejich vzdálenost od přípojky distribuční soustavy je velká (řádově stovky až tisíce metrů). Pro výhodnost těchto zařízení je nutná pečlivá ekonomická rozvaha.

## 2 CHARAKTERISTIKA FOTOVOLTAICKÝCH ZDROJŮ ELEKTRICKÉ ENERGIE

Na obrázku 1-1 lze vidět fotovoltaický článek. Dle [1] lze říci, že „fotovoltaický zdroj užívá přímé přeměny světelné energie na elektrickou energii přes polovodičový prvek nazývaný fotovoltaický článek. Fotovoltaický článek je velkoplošná dioda minimálně s jedním PN přechodem. Při dopadu sluneční energie na solární článek jsou generovány elektricky nabitě částice (pár elektron – díra). Elektrony a díry jsou oddělovány vnitřním elektrickým polem přechodu PN. Rozdělení náboje má za následek napěťový rozdíl mezi „předním“ (-) a „zadním“ (+) kontaktem solárního článku. Vnější obvodem potom protéká stejnosměrný elektrický proud, jenž je přímo úměrný ploše solárního článku a intenzitě dopadajícího slunečního záření. Fotovoltaický článek je tvořen nejčastěji tenkou destičkou z monokrystalu křemíku, můžeme také použít polykrystalický materiál. Destička je z jedné strany obohacena atomy trojmocného prvku (např. bóru), a z druhé strany atomy pětímocného prvku (např. arzenu)“ [1].



Obr. 2-1 Princip činnosti fotovoltaického článku, modifikováno z [18]

Napětí jednoho článku je přibližně 0,5V. Toto napětí je příliš malé pro jeho další využití, proto se tyto články sériově propojují s více články a z nich získané napětí je již použitelné v různých typech fotovoltaických systémů. Sluneční články se zapojují buď za sebou, abychom dosáhli potřebného napětí, nebo vedle sebe tak, abychom získali větší proud. Spojením mnoha článků vedle sebe a za sebou vzniká takzvaný sluneční panel. Standardně se používají sestavy s napětím 12V nebo 24V [1].

Fotovoltaické panely mohou mít podobu fasádních skel, střešní krytiny nebo fasádních obkladů. Na solární panely jsou kladeny vysoké nároky ohledně mechanické a klimatické odolnosti tak, aby byla zajištěna dlouhá životnost. Krycí materiály musejí mít vysokou optickou a izolační stálost. Předpokládaná životnost panelů je delší než 20 let [1].

## 1.1 Dělení fotovoltaických elektráren podle způsobu použití

### Dělení systémů podle způsobu použití [7]:

- systémy nezávislé na rozvodné síti (grid-off),
- síťové systémy (grid-on),
- systémy s přímým napájením,
- systémy s akumulací elektrické energie,
- hybridní systémy.

#### 1.1.1 Systémy nezávislé na rozvodné síti (grid-off)

Tyto systémy se také nazývají ostrovní systémy a používají se tam, kde není možnost připojení k DS. Jsou to zpravidla místa, kde vybudování elektrické přípojky převyšuje náklady na pořízení systému grid-off nebo se jim rovná. U těchto systémů je nutno využívat elektrickou energii co nejušporněji používáním úsporných spotřebičů aj. [1].

Používají se k napájení horských chat, obytných přívěsů atd. [1].

#### 1.1.2 Síťové fotovoltaické systémy (grid-on)

Jsou používány v oblastech s možností připojení na elektrickou síť. Nepotřebují akumulovat elektrickou energii, protože při nedostatku elektrické energie využívají rozvodnou síť k získání elektrické energie. Je nutné použít střídač, který přemění proud z fotovoltaických panelů na proud střídavý. Při přebytku vyrobené elektrické energie se tato energie dodává zpět do rozvodné sítě přes síťový střídač. Systémy tohoto typu fungují zcela automaticky díky mikroprocesorovému řízení síťového měniče. Výkon fotovoltaických systémů grid-on se pohybuje v řádech kW až MW [1].

Základní prvky jsou fotovoltaické panely, měnič napětí (střídač), regulátor napětí, kabelové rozvody, měření vyrobené elektrické energie a zařízení pro zlepšení účinnosti (sledovače slunce, indikátory atd.) [1].

Nejčastěji bývají umístěny na střeších rodinných domů (1kWp-10kWp), fasádách a střeších administrativních budov, na volné ploše (fotovoltaická pole) atd. [1], [7].

Používají se k napájení různých elektrických zařízení nebo ke kladnému ekonomickému zhodnocení vyrobené elektrické energie [1], [7].

#### 1.1.3 Systémy s přímým napájením

Tyto systémy se také řadí k ostrovním systémům. Systémy s přímým napájením jsou přímo spojeny se spotřebičem elektrické energie přes regulátor napětí. Používají se pouze tam, kde může být připojené zařízení funkční jen po dobu dostatečné intenzity slunečního záření [1].

Základní prvky jsou fotovoltaický panel, kabelové rozvody, regulátor napětí, zařízení pro zlepšení účinnosti (sledovače slunce, indikátory atd.) a spotřebič [2].

Používají se k napájení závlahových zařízení, notebooků, mobilních svítidel, mobilních telefonů, oběhových čerpadel pro rozvod teplé užitkové vody atd. [2].

#### 1.1.4 Systémy s akumulací elektrické energie

Používají se tam, kde je potřeba čerpat elektrickou energii i v době bez slunečního záření. K tomuto účelu se používají akumulátorové baterie. Optimální dobíjení a vybíjení akumulátorové baterie je zajištěno elektronickým regulátorem dobíjení. K tomuto zařízení lze připojit spotřebiče



využívající stejnosměrný proud 12V- 24V. V případě používání spotřebičů na střídavý proud, je nutno systém vybavit střídačem (měničem) proudu [1], [7].

Používají se k napájení malých spotřebičů v terénu, zahradních osvětlení, napájení navigačních a telekomunikačních zařízení na odlehlých místech, jako jsou jachty na moři, měřicí stanice např. na Antarktidě atd. [1], [7].

### 1.1.5 Hybridní systémy

Hybridní systémy se používají tam, kde je nutný celoroční provoz i přes zimní období a kde je větší odběr elektrické energie (zařízení s vysokým příkonem). Z tohoto důvodu je nutné kombinovat fotovoltaický zdroj elektrické energie s jiným zdrojem elektrické energie (větrná elektrárna, kogenerační jednotka, diesel agregát, malá vodní elektrárna) nebo mohou být připojeny do distribuční soustavy. Tyto dodatečné zdroje zajišťují dodávku elektrické energie v době, kdy primární zdroj nevyrábí dostatek elektrické energie pro pokrytí denní spotřeby. U hybridních systémů je vhodné akumulovat elektrickou energii pro zvýšení účinnosti celého systému a pro překlenutí doby s nedostatkem elektrické energie [1], [7].

Nevýhodou hybridních systémů je finanční náročnost na realizaci (nutnost použití dražších regulačních prvků a řídicích členů) [1], [7].

## 1.2 Výhody a nevýhody slunečních zdrojů energie

### Výhody [6], [7].

- Nevyčerpatelný zdroj energie. Využíváme přírodní zdroj tj. intenzitu slunečního záření produkované sluncem.
- Během provozu nevznikají žádné emise nebo jiné škodlivé látky. Sluneční záření se přeměňuje na čistou elektrickou energii bez vedlejších nežádoucích emisí či jiného znečišťujícího faktoru.
- Provoz je bezhlučný. Fotovoltaický panel neobsahuje pohyblivé díly, pouze polovodičové a elektronické a elektrotechnické součástky.
- Jednoduchá montáž fotovoltaických systémů. Navrhnutý fotovoltaický systém se skládá z jednotlivých komponentů, které se kompletují přímo v místě realizace osobou nebo firmou s příslušnou elektrotechnickou kvalifikací.
- Provoz téměř nevyžaduje obsluhu. Díky elektronické regulaci systémy nevyžadují obsluhu provozu.
- Jednoduchá elektronická regulace. Provoz je plně automatizován dle nastavených provozních parametrů.
- Vysoká provozní spolehlivost. Vychází z použití kvalitních komponentů a plně automatizovanému provozu.

### Nevýhody [6], [7].

- Nízká průměrná roční intenzita slunečního záření.
- Malá účinnost přeměny a z toho plynoucí nároky na plochu článků. Účinnost fotovoltaických panelů se pohybuje do 15%.
- Vysoké finanční náklady na realizaci plynoucí ze složité a technicky náročné výroby součástek.
- Nutné zálohování elektrické energie pro případ nedostatečné intenzity slunečního záření a nízkého počtu slunných dnů.

## 2 CHARAKTERISTIKA VĚTRNÝCH ZDROJŮ ELEKTRICKÉ ENERGIE

Vítr patří mezi nejdéle využívaný zdroj energie, který lidstvo používá od dávnověku a to nejrůznějšími způsoby. Vítr byl užíván jako zdroj energie pro pohánění lodí, větrných mlýnů, vodních čerpadel a podobně. První údaje o využití větrné energie v Českých zemích jsou z roku 1277 v zahradě Strahovského kláštera v Praze při použití větrného mlýna [3].

V dnešní době je využívání větrné energie mnohem efektivnější, než tomu bylo v minulosti. Jsme schopni přeměnit kinetickou energii větru na elektrickou energii a tu využívat k pohonu nejrůznějších elektrických zařízení, která lidstvu usnadňují život [1].

*„Vítr vzniká v atmosféře na základě rozdílu atmosférických tlaků jako důsledek nerovnoměrného ohřívání zemského povrchu. Teplý vzduch stoupá vzhůru, na jeho místo se tlačí vzduch studený. Působením aerodynamických sil na listy rotoru převádí větrná turbína, umístěná na stožáru, energii větru na rotační energii mechanickou. Ta je poté prostřednictvím generátoru zdrojem elektrické energie. Podél rotorových listů vznikají aerodynamické síly, listy proto musejí mít speciálně tvarovaný profil. Se vzrůstající rychlostí vzdušného proudu rostou vztlakové síly s druhou mocninou rychlosti větru a energie vyprodukovaná generátorem s třetí mocninou. Je proto třeba zajistit efektivní a rychle pracující regulaci výkonu rotoru tak, aby se zabránilo mechanickému a elektrickému přetížení větrné elektrárny“ [4].*

**Základní prvky větrné elektrárny jsou:** hlava rotoru, systém regulace rotoru, gondola (hlava větrné elektrárny), hřídel, převodovka, generátor, pomocná zařízení (řídící elektronika) a stožár [14].

### 2.1 Dělení větrných elektráren [1], [14]

- **Mikroelektrárna** (výkon od 2kW-2,5kW, průměr vrtule od 0,5m-3m). Používají se k napájení drobných přenosných spotřebičů, osvětlení reklamních panelů, napájení inteligentních značek, ale také k napájení osvětlení a vybraných spotřebičů chat a rodinných domů atd. Tato zařízení pracují se stejnosměrným napětím 12V-24V. Mohou také pracovat v ostrovním režimu.
- **Malé elektrárny** – výkon do 60kW a průměr vrtule do 16m. Jsou používány k napájení větších zařízení např. chat, rodinných domů, pohonů atd. Mohou pracovat do distribuční soustavy. Práce v ostrovním režimu je reálná, ale ekonomicky nevýhodná.
- **Zařízení s výkonem od 2,5kW-10kW**, průměr vrtule od 3m-8m. Tyto elektrárny plně dostačují k napájení větších zařízení, jako jsou rodinné domy, chaty, vytápění domů, pohonů (např. čerpadla atd.), pro ohřev teplé užitkové vody atd. Mohou také pracovat v ostrovním režimu.
- **Střední elektrárny:** výkon od 130kW-750kW, průměr vrtule do 45m. Tyto elektrárny pracují výhradně do rozvodné sítě.
- **Velké elektrárny:** od 1500kW-6400kW, průměr vrtule do 128m. Tyto elektrárny pracují výhradně do rozvodné sítě.

### 2.1.1 Rozdělení podle aerodynamického principu [5], [14]

- **Vztlakové s vodorovnou osou natáčení** - vítr obtéká lopatky s profilem podobným letecké vrtuli. Na podobném principu pracovaly již historické větrné mlýny, nebo tak pracují větrná kola vodních čerpadel (tzv. americký větrný motor). Při stejném průměru rotoru v zásadě platí nepřímá závislost počtu listů a frekvence otáčení. Moderní elektrárny mají obvykle tři listy, byly však vyvinuty i typy s jediným nebo se dvěma listy.
- **Odporové** - pracují na vztlakovém principu, kdy existují také elektrárny se svislou osou otáčení, některé pracují na odporovém principu (typ Savonius, jako misky anemometru) nebo na vztlakovém principu (typ Darrieus).

Výhodou elektráren se svislou osou pracujících na vztlakovém principu je, že mohou dosahovat vyšší rychlosti otáčení a tím i vyšší účinnosti. Není nutné natáčet je do směru převládajícího větru. Elektrárny se svislou osou otáčení se v praxi příliš neuplatnily, neboť u nich dochází k mnohem vyššímu dynamickému namáhání, které značně snižuje jejich životnost.

Nevýhodou je malá výška rotoru nad terénem (menší rychlost větru).

### 2.1.2 Systém natáčení do směru proudění větru [5], [14]

- Ocasní plocha (použití u malých a mikroelektráren).
- Boční pomocné motory (použití u malých a středních elektráren).
- Pomocné motory (použití u středních a velkých elektráren).

### 2.1.3 Regulace výkonu [1], [14]

- **Regulace PITCH (aktivní)** při překročení nominálního výkonu generátoru listy vrtule změni směr natočení proti proudu vzduchu a tím dojde ke snížení tlaku vzduchu na vrtuli a snížení výkonu generátoru. Toto probíhá vždy automaticky.
- **Regulace STALL (pasivní)** spočívá v odtržení proudů od listů vrtule při určité rychlosti větru. Tento systém má pevně nastavené listy vrtule.

### 2.1.4 Generátory [5], [14]

- **Synchronní** - vyznačují se velkou účinností, jsou schopny pracovat s velkým rozsahem větru i bez převodovky. Mohou být použity pro malé, střední i velké větrné elektrárny.
- **Asynchronní** - jsou vhodné pro malé a střední elektrárny.
- **Stejnoseměrné** - produkují napětí 12V-24V. Používají se zejména pro mikroelektrárny

## 2.2 Výhody a nevýhody větrných elektráren

### Výhody [4], [5]

- Nevyčerpatelný zdroj energie. Využívají obnovitelný přírodní zdroj energie (vítr).
- Během provozu nevznikají žádné emise nebo jiné škodlivé látky. Ke svému provozu potřebují pouze energii větru (přírodní zdroj).
- Oproti fotovoltaickým elektrárnám mohou větrné elektrárny vyrábět elektrickou energii i v noci.
- Použití ve špatně dostupných místech. Dají se zkonstruovat a provozovat v místech, kde není možnost připojení k distribuční soustavě, nebo kde připojení k distribuční soustavě finančně převyšuje samotnou výstavbu větrné elektrárny (bývá to z důvodů velké vzdálenosti k bodu připojení k DS).
- Nevytváří skleníkový efekt. Přeměňují kinetickou energii větru na elektrickou energii (tj. nezpalují žádné plynné ani kapalné látky), a tím nevytváří žádné plynné nebo kapalné látky znečišťující životní prostředí.

### Nevýhody [4], [5]

- Nutno volit místa s dobrými povětrnostními podmínkami.
- Velká hlučnost. Při provozu větrné elektrárny můžeme slyšet tzv. brum. Je to hluk, který vzniká při obtékání vzduch kolem lopatek větrné vrtule a následném kruhovém pohybu lopatek větrné elektrárny.
- Rušení vzdušných proudů.
- Vysoké finanční náklady na realizaci vyplývající ze složitosti celého zařízení.
- Nestálost větrného zdroje. Závisí na povětrnostních podmínkách a z toho vyplývá nárazová dodávka vyráběné elektrické energie.
- Narušení krajinného rázu. V ČR jsou dobré podmínky pro výstavbu větrné elektrárny často v chráněných krajinných oblastech, což má za následek znemožnění výstavby větrných elektráren právě z důvodu narušení krajinného rázu přírody.

## 3 AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE

Nevýhodou využívání fotovoltaické a větrné energie je jejich závislost na povětrnostních a slunečních podmínkách. Proto je výhodné jejich energii akumulovat pro případ, že nastane období, kdy tyto zdroje nebudou schopny vyrábět elektrickou energii [8].

U malých zdrojů elektrické energie je nejvýhodnější akumulovat elektrickou energii do sekundárních článků (bateriových akumulátorů). Proto uvádíme přehled způsobů akumulace elektrické energie převážně do bateriových akumulátorů [14].

Akumulaci energie je možno provést i dalšími způsoby, jako jsou přečerpávací elektrárny, setrvačnický, akumulace energie založená na stlačeném vzduchu atd. Tyto systémy jsou používány zejména u velkých systémů nebo u specifických zařízení [10].

### 3.1 Akumulátory olověné

Jsou nejpoužívanějšími akumulátory ve fotovoltaických a větrných elektrárnách pro zálohování energie. Od startovacích akumulátorů se liší tím, že jsou přizpůsobeny na hluboké vybíjení a mají velmi nízké samovybíjení. Životnost baterií se pohybuje od několika set až k tisícům cyklů nabití [8], [14].

#### 3.1.1 Dělení olověných akumulátorů

**Staniční baterie:** jsou složené z 2V článků v průhledných nádobách s volně nalitým elektrolytem (kyselina sírová). V energetice se používají jako záložní zdroje při přerušení dodávky z rozvodné sítě, telekomunikací, železniční dopravě, nemocnicích, počítačových systémech atd. [14].

Výhodou je dlouhá životnost, nízká cena, snadná výměna vadných článků a dobře snášejí hluboké vybíjení [14].

Nevýhodou těchto akumulátorů je vysoká hmotnost, při nabíjení hrozí riziko výbuchu z důvodu produkce plnu  $H_2O_2$  [14].

**Šestičlánekové 12V baterie** jsou vhodné pro menší systémy. Požívají se zejména pro menší systémy. Výhodou je nízká cena, nízká hmotnost, kompaktnost. Nevýhodou těchto akumulátorů je složitá výměna vadných článků v případě poruchy.

#### **Akumulátory OPzV**

Jsou to ventilem řízené baterie s elektrolytem vázaným v gelu. Elektrolyt je uložen ve formě gelu v uzavřené nádobě, což značně zvyšuje jeho bezpečnost. U těchto baterií dochází na povrchu čerstvě vyloučeného olova na záporné desce k vzájemné reakci vznikajícího  $H_2$  a  $O_2$  za vzniku vody. Z toho vyplývá, že akumulátor neztrácí vodu [8], [10]. Tyto baterie jsou přizpůsobeny na provoz s častým nabíjecím a vybíjecím cyklem.

Výhodou těchto akumulátorů je bezúdržbový provoz, menší samovybíjení, menší sklon k sulfataci při delším setrvání ve vybitém stavu [8], [10].

Nevýhodou těchto akumulátorů je složitá výměna vadných článků a jejich vysoká cena.

Požívají se pro zálohování energie v telekomunikacích, zabezpečovacích a železničních systémech, ve výpočetní technice, pro nouzové osvětlení atd [8], [10].

### Akumulátory OPzS

Tyto akumulátory jsou uzavřeny ve větrané nádobě s tekutým elektrolytem. Používají se ve staničních aplikacích jako nouzové záložní zdroje při selhání dodávky z DS. Bývají paralelně připojeny k zařízení pracující v pohotovostním režimu se stálým udržovacím nabíjením. Mohou být použity v provozech, kde je potřeba vybíjení malými a středními proudy [8], [10].

## 3.2 Akumulátory alkalické

Ve fotovoltaických systémech se používají Ni-Cd akumulátory s kapsovými elektrodami. Tyto akumulátory se dnes používají jen velmi zřídka z důvodu malé účinnosti [8], [9].

Výhodou je dlouhá životnost (10let-20let při cyklech vybíjení 60%-80%), dobře snášejí dlouhé vybíjení [8], [9].

Nevýhodou je paměťový efekt (snížení kapacity pokud se občas zcela nevybíjí), vyšší samovybíjení a nízká energetická účinnost. Z toho důvodu je nutno zvyšovat množství akumulátorových článků pro dosažení potřebného napětí [8], [9].

## 3.3 Akumulátory lithium-iontové

Tyto akumulátory se používají především pro napájení malých zařízení (mobilní telefony, notebooky, videotechnika, ruční nářadí), a to z důvodu jejich vysoké pořizovací ceně. „*Aktivním materiálem kladné elektrody jsou sloučeniny kovů, např.  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiMnO}_2$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ , nebo  $\text{LiNiO}_2$  a podobně, záporná elektroda je uhlíková (grafit)*“ [8].

„*Katoda tvoří oxid kovu ( $\text{LiCoO}_2$ ) anoda je z uhlíku s vestavnou strukturou. Elektrolyt tvoří litá sůl ( $\text{LiPF}_6$ ) rozpuštěná v organickém karbonátu*“ [8].

Výhodou je malá hmotnost (asi o 80% lehčí než běžné olovené baterie), vysoká životnost, vysoké napětí článků (3,6V) a velká hustota energie, malé samovybíjení a netrpí paměťovým efektem [10], [14].

Nevýhodou je vysoká cena, postupná ztráta kapacity 5%-10% za měsíc, což je způsobeno vysokou relativitou lithia, nutné jištění proti vybití, také citlivá na přebíjení [10], [14].

## 3.4 Akumulátory průtokové

Skládají se ze dvou rezervoárů naplněných elektrolytem proudícím elektrochemickým článkem. Hustota energie je dána množstvím elektrolytu v rezervoárech. Napětí na článku dosahuje 1,4V-1,8V (závisí na použitém elektrolytu). Pro svoji vysokou kapacitu jsou vhodné na dlouhodobé zálohování [8], [9], [14].

Výhodou je jejich vysoká účinnost (75%-80%), nízké náklady [8], [9].

Nevýhodou nízká hustota energie [8], [9].

## 3.5 Superkondenzátory (ultrakondenzátory)

Energie je uložena ve formě energie elektrostatického pole (neprobíhá v nich žádná chemická reakce) [8], [14].

Používají se pro krátkodobou akumulaci energie.

Výhodou je malý vnitřní odpor, vysoká životnost, velký vybíjecí proud, vysoká účinnost.

Nevýhodou je nízká hustota energie, samovybíjení [14].

### 3.6 Akumulátor sodík-síra

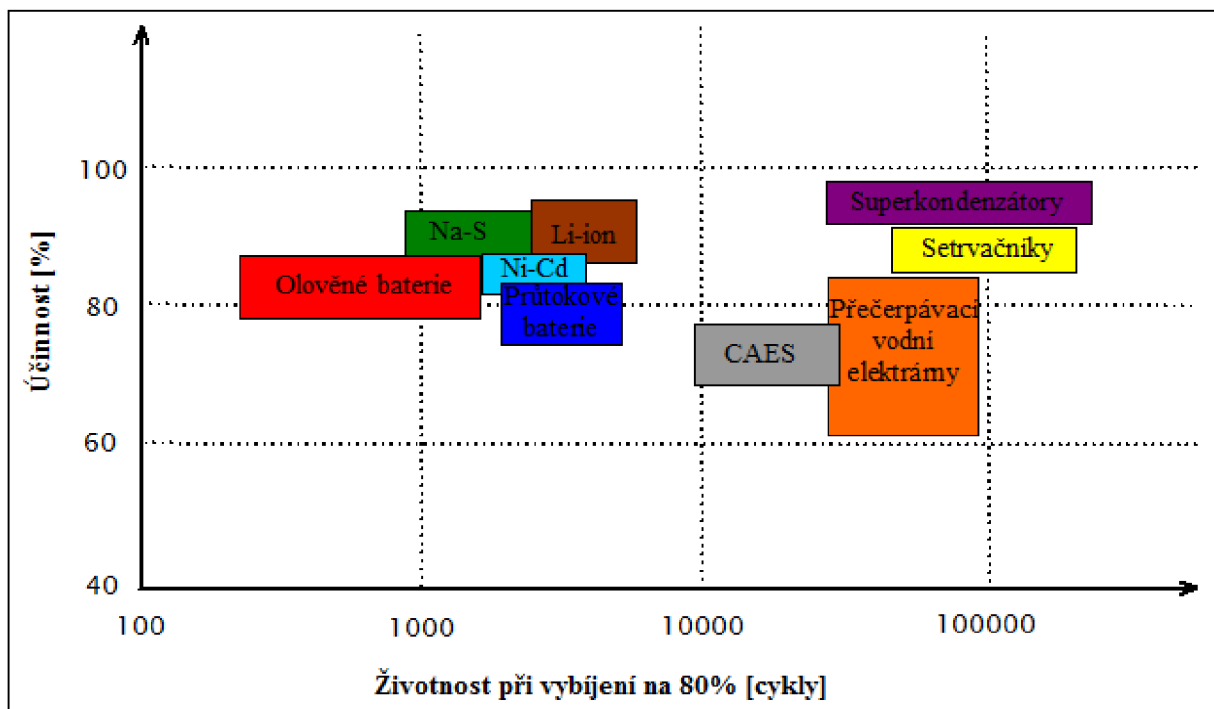
Skládá se z kapalné síry na kladné elektrodě a na záporné elektrodě z kapalného sodíku. Tyto dvě složky jsou odděleny elektrolytem z keramického oxidu hlinitého. Elektrolyt umožní průchod kladným iontům sodíku, které se spojí se sírou a vytvoří polysulfidy sodíku. Při vybíjení, kdy kladné ionty  $\text{Na}^+$  procházejí elektrolytem a tok elektronů ve vnějším obvodu baterie vytváří asi 2V. Tento proces je vratný, protože při nabíjení uvolňují polysulfidy sodíku kladné ionty zpět do elektrolytu, kde se znovu usazují jako elementární sodík. Z toho důvodu musí být baterie uchovávána při teplotě 300 stupňů celsia [9].

Používají se pro napájení malých a velkých odběrných míst, pro stabilizaci energie z větru, pro omezování špiček, záložní energií, úpravu větrných elektráren.

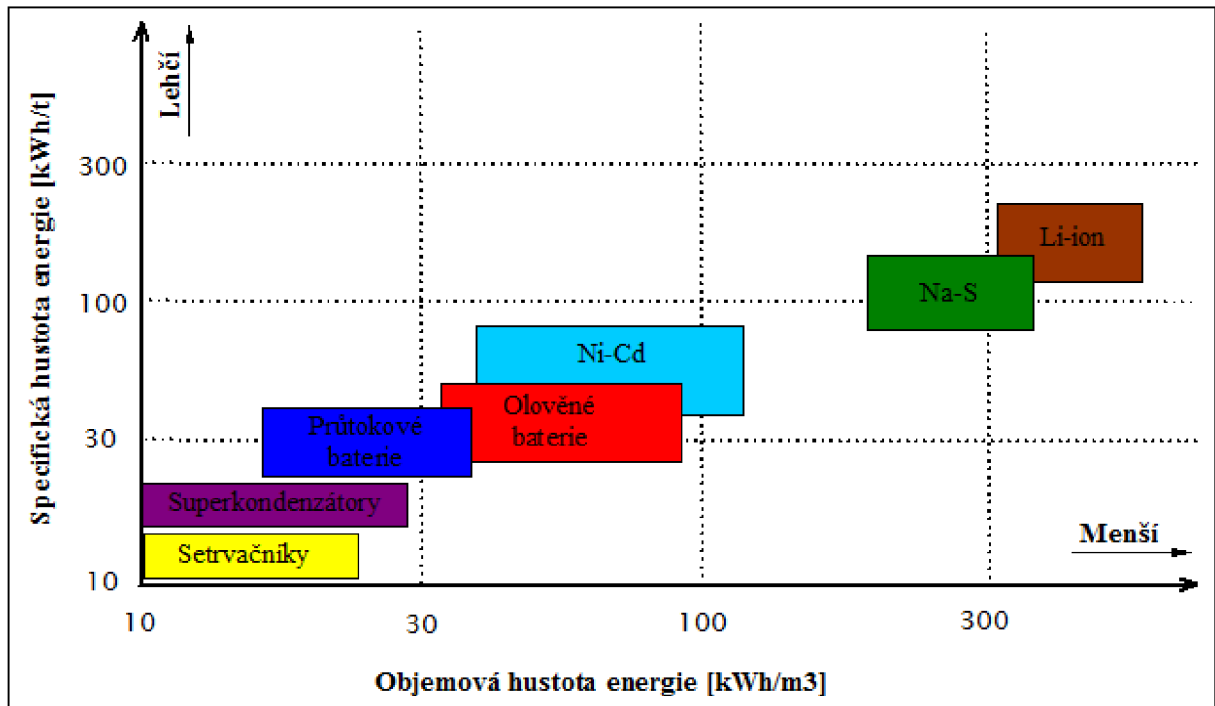
Výhodou těchto akumulátorů je jejich vysoká účinnost, velká hustota energie, nízké samovybíjení.

Nevýhodou je jejich velikost, vysoká pracovní teplota [9].

**Základní parametry pro uchování elektrické energie jsou:** hustota energie, účinnost, měrný výkon, samovybíjení, životnost. Tyto parametry znázorňuje obrázek 3-1[10] a 3-2 [10], [14].



Obr. 3-1 Závislost účinnosti na životnosti akumulátorů, modifikováno z [8]



Obr. 3-2 Závislost specifické hustoty energie na objemové hustotě energie, modifikováno z [8]



## 4 STANOVENÍ VSTUPNÍCH VELIČIN A PARAMETRŮ AUTONOMNÍHO (GRID-OFF) ZDROJE.

### 4.1 Charakteristika objektu

Objekt je jednopodlažní horská chata umístěná v lokalitě Hrubého Jeseníku v obci Stará Ves u Rýmařova (GPS souřadnice 49°57'29"N, 17°14'15"E). Chata bude využívána jako rekreační objekt a to jak v zimních, tak i v letních měsících.

Horská chata včetně sklonu střechy 35° je situována na jižní stranu. Barva krytiny je černá a typ krytiny je pálená betonová taška BRAMAC. Chata je v nadmořské výšce 640m nad hladinou moře v otevřené krajině.

V objektu se nachází společenská místnost, ložnice, pokoj, WC, koupelna, vstupní chodba a kotelna.

V letních měsících bude chata využívána v době dovolených a pro víkendové pobyty. V zimních měsících chata bude využívána v době dovolených, vánočních svátků a víkendových pobytů (převážně v lyžařské sezóně). V jarních a podzimních měsících chata bude využívána pouze za účelem údržby a správy objektu.

Světelné zdroje budou využívat výhradně střídavý rozvod 230V. Zásuvky pro spotřebiče jako jsou mikrovlnná trouba, varná konvice, lednice, televize, účastnické zásuvky a zásuvky pro oběhová čerpadla budou používat taktéž střídavý rozvod 230V.

Pro potřebu vytápění bude použit zplynovací kotel na tuhá paliva (dřevo). Pro jeho regulaci použijeme oběhové čerpadlo řízené teplotním termostatem umístěným v referenční místnosti (společenská místnost), přes příložné teplotní čidlo umístěné na přívodním potrubí kotle. Teplotní termostát v případě potřeby dá pokyn oběhovému čerpadlu k zapnutí. Oběhové čerpadlo se zapne, pouze pokud nastavená teplota na příložném čidle umístěném na přívodním potrubí kotle nedosáhne nastavené teploty (zpravidla 55°C).

Pro ohřev teplé užitkové vody bude použit 120l zásobník vody, připojený na zplynovací kotel na tuhá paliva a krbovou vložku. Na topení v letních, podzimních nebo jarních měsících bude využívána lokální krbová vložka umístěná ve společenské místnosti.

### 4.2 Parametry nutné pro návrh autonomního zdroje

**Pro správný návrh systému by měli být zjištěny následující informace [10]:**

- Časový snímek spotřebiče (pro jaký časový úsek by měla hybridní soustava fungovat).
- Odhadovaný okamžitý příkon.
- Doba činnosti jednotlivých spotřebičů.
- Ztráty při použití MPPT měniče.
- Ztráty akumulátoru.
- Ztráty v kabelech, svorkách a konektorech.
- Doba, po jakou má akumulátor napájet dané odběrné místo.
- Údaje o slunečním svitu a povětrnostních podmínkách v dané oblasti.

Protože horská chata bude používána převážně o víkendech, svátcích a dovolených zvolíme zálohu akumulátorových baterií na 4 dny provozu. Přesný výpočet uvedeme v kapitole 6. Ztráty v MPPT měniči, akumulátoru, vodičích, svorkách a konektorech uvedeme také v kapitole 6.

Pro přehled všech použitých spotřebičů a jejich spotřeby elektrické energie jsme sestavili tabulce 4.1 a tab. 4.2. Přehled spotřeby elektrické energie horské chaty je znázorněn na obrázku 4-1.

Tab. 4-1 Seznam spotřebičů v horské chatě

	Osvětlení	Televize	Čerpadlo kotle	Varná konvice	Mikrovlnná trouba	Vysavač	Lednice	Notebook	Nabíječka mobilu	Rádio	Ostatní	Celkem
Počet (ks)	10	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	21
příkon [W]	5,5	65	5	800	500	500	110	75	25	35	300	2420,5
Provoz v hod./den	3	2	15	0,3	1	0,2	4	1	1	2	1	30,5
Spotřeba za den [Wh]	165	125	75	240	500	100	440	75	50	70	300	2140

Pro horskou chatu jsme určili celkový denní odběr 2140Wh bez vnitřních ztrát systému. Osvětlení bude provedeno diodovými zdroji o celkovém příkonu 5,5W. Předpokládaný provoz televizoru bude asi 2 hodiny za den. V době, kdy nebude televizor v provozu, bude vypnut manuálně a nebude v provozu stand-by. Toto opatření je z důvodu úspory odebírané elektrické energie. Lednice bude v 24 hodinovém provozu s příkonem 440Wh za den. Mikrovlnná trouba bude v provozu pouze hodinu denně, což odpovídá občasnému ohřívání potravin. V položce ostatní jsme zvolili výkonovou rezervu 300W, kterou lze použít pro náhodné spotřebiče o celkovém maximálním příkonu 300W.

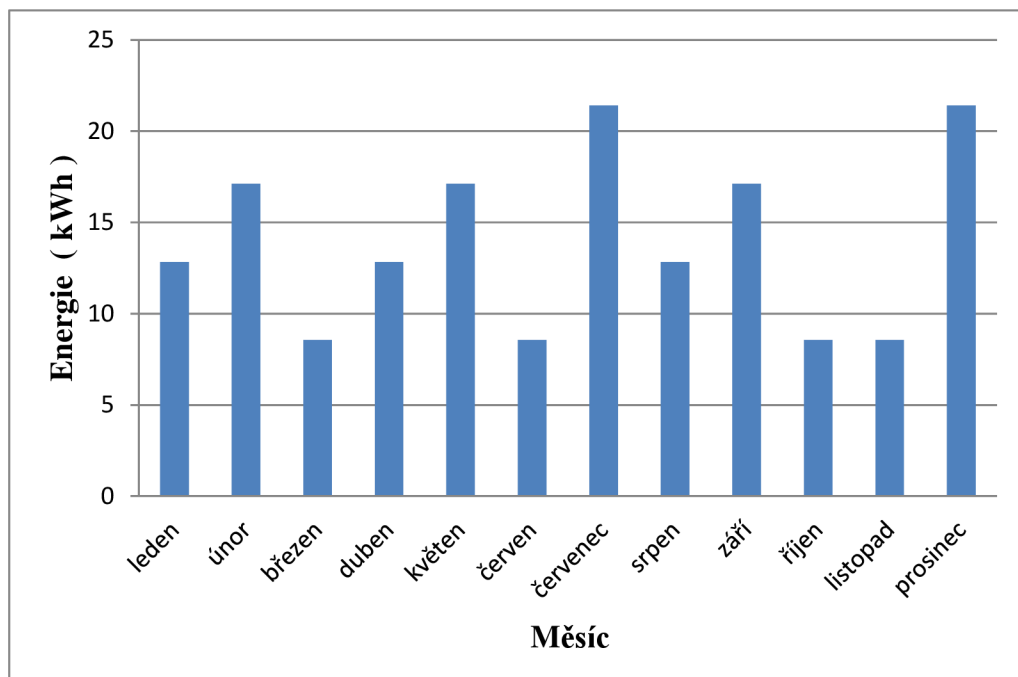
Tab. 4-2 Předpokládaná spotřeba v měsíci a roce

	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Celkem za rok [kWh]
Počet dní v provozu	6	8	4	6	8	4	10	6	8	4	4	10	
Měsíční spotřeba v [kWh]	12,84	17,12	8,56	12,84	17,12	8,56	21,4	12,84	17,12	8,56	8,56	21,4	166,92

Pro určení slunečního záření v dané oblasti z fotovoltaického panelu ASEC 235G6M, jsme použili aplikaci dostupnou na webových stránkách [11]. Po zadání údajů o špičkovém výkonu vycházejícího z použitého fotovoltaického panelu, jeho sklonu, přesné lokality a orientace panelů, aplikace vygenerovala potřebné údaje slunečního záření v dané oblasti uvedené v tabulce 4-3.

Tab. 4-3 Sluneční záření v dané lokalitě pro fotovoltaický panel ASEC235G6M polykrystalický

Slon 35°, Lokalita: Stará Ves GPS 49°57'30"N, 17°14'11"				
Měsíc	Průměrná denní výroba elektřiny $E_d$ [kWh]	Průměrná měsíční výroba elektřiny $E_m$ [kWh]	Průměrný denní úhrn globálního záření $H_d$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	Průměrný měsíční úhrn globálního záření $H_d$ [kWh/m <sup>2</sup> ]
Leden	0,30	9,40	1,22	37,7
Únor	0,49	13,8	2,04	57,0
Březen	0,83	25,7	3,49	108
Duben	1,14	34,2	5,00	150
Květen	1,13	35,0	5,12	159
Červen	1,14	34,2	5,24	157
Červenec	1,09	33,6	5,04	156
Srpen	1,07	33,2	4,93	153
Září	0,85	25,5	3,77	113
Říjen	0,54	16,8	2,34	72,6
Listopad	0,31	9,36	1,29	38,7
Prosinec	0,26	8,15	1,07	33,3
Roční průměr	0,765	23,3	3,39	103
Celkem za rok		279		1240



Obr. 4-1 Spotřeba elektrické energie horské chaty

Údaje o rychlostech větru v naší oblasti hrají důležitou roli při návrhu a simulaci větrného zdroje. Z údajů uvedených v tabulce 4-4 jsme schopni určit použitelný výkon větrného zdroje v určité oblasti. V našem případě ve Staré Vsi u Rýmařova na souřadnicích GPS 49°57'30"N, 17°14'11"E.

Tyto údaje byly poskytnuty vedoucím práce Ing. Michalem Ptáčkem a byly zjištěny měřením na 2MW větrné elektrárně vysoké 60m, po dobu jednoho roku a přepočítány na nadmořskou výšku 648m.

Tab. 4-4 Roční údaje o rychlosti větru v 8m nad zemí

Rychlost větru m/s	Měsíc											
	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
0	1,3	7,7	4,7	7,2	13,8	1,5	2,8	19,3	21,7	15,3	2,3	1,8
1	2,7	3,3	20,5	16,3	22,3	46,8	66,3	51,5	20,3	36,5	28,1	33
2	24,3	29,5	76,2	95,8	82,3	147	122,3	166,5	77	65,2	96,2	56,5
3	69,7	66,2	126,5	108,2	148	145	131,8	204,5	101,2	109,5	87,2	118
4	134,2	97	143,2	125,8	166,3	131,7	148,5	146,2	153,2	173	127,7	141,7
5	134,5	153,3	170	153	161,8	105,2	132,5	73,7	173,2	173,7	149,5	141,3
6	123,2	144,7	114,8	120	101,2	64,7	87	43,7	106,2	106,2	113,8	114,3
7	107,7	68,8	49,8	55,8	39,2	33	32,7	16,7	55,3	56,2	70	76
8	69	38,3	20,7	18,8	7,8	16,8	7,3	3,7	16,3	15,3	40,1	51,5
9	43,3	19,2	8,3	5	0,8	1,3	2,3	2	0,8	1,7	11	12,2
10	21,7	6,5	6,2	2,2	0	0,2	0,7	0,8	0	0	1,6	0,8
11	9,8	5	2,7	0	0	0	0,7	0,7	0	0	0	0,2

## 5 TECHNICKÝ NÁVRH, VÝPOČET A POPIS AUTONOMNÍHO SYSTÉMU

### 5.1 Vnitřní ztráty na jednotlivých prvcích systému

Vnitřní ztráty jednotlivých elektrických komponentů hrají důležitou roli při návrhu celého zařízení. Tyto ztráty vznikají na jednotlivých součástkách zařízení a projevují se ve formě tepla. To znamená, že každý elektrický komponent má určitou účinnost. Proto je nutné vypočítat ztráty jednotlivých elektrických zařízení a o tyto ztráty navýšit výkon celého systému.

**Ztráty při použití měniče  $E_M$  [13]: SUNNY ISLAND s účinností 95%**

$$E_M = \frac{E_C}{\eta_M} = \frac{2140\text{Wh}}{0.95\%} = 2252\text{Wh} \quad (5.1)$$

**Ztráty na střídači  $E_W$  [13]: SUNNY BOY s účinností 95,3%**

$$E_{MW} = \frac{E_M}{\eta_W} = \frac{2252\text{Wh}}{0.953\%} = 2363\text{Wh} \quad (5.2)$$

**Ztráty v akumulátoru  $E_A$  [13]: trakční akumulátor OPzV s účinností 80%**

$$E_{MWA} = \frac{E_{MW}}{\eta_A} = \frac{2363\text{Wh}}{0.80\%} = 2953\text{Wh} \quad (5.3)$$

Akumulátory zajišťují dostatek energie v době neefektivní nebo žádné výroby elektrické energie. Protože horská chata bude využívána pouze přechodně a to o víkendech, svátcích a dovolených, volíme zálohu na 4 dny provozu.

**Ztráty v kabelech, svorkách a konektorech  $E_K$  [13]: účinnost 97%**

$$E_{MWAK} = \frac{E_{MWA}}{\eta_K} = \frac{2953\text{Wh}}{0.97\%} = 3044\text{Wh} \quad (5.4)$$

Celková spotřeba horské chaty při započítání vnitřních ztrát činí 3044Wh za den.

## 5.2 Návrh fotovoltaických panelů

Pro uvažovaný systém jsme zvolili polykrystalický fotovoltaický panel ASEC 235G6M. Polykrystalický panel jsme zvolili z důvodu lepší účinnosti výroby elektrické energie v měsících s podprůměrnou intenzitou slunečního záření.

Návrh fotovoltaických panelů jsme provedli pro měsíc březen až září. Pro určení potřebného výkonu panelů jsme vybrali nejnižší denní výrobu elektrické energie za období březen až září, která činí 0,83kWh za den v měsíci březen. Můžeme předpokládat, že v zimním období bude produkce elektrické energie z fotovoltaického panelu značně omezena a to jak z důvodu nízké intenzity slunečního záření, počtu slunných dnů, tak z důvodu sněhové pokrývky na střeše a fotovoltaických panelech. Pro zajištění nebo alespoň vylepšení dodávky elektrické energie do horské chaty bude nutné přidat další zdroj elektrické energie. V našem případě použijeme větrnou mikroelektrárnu, jejíž výkon je závislý na rychlosti větru v dané oblasti.

Jestliže jsme vybrali fotovoltaický panel s maximálním výkonem 235W a známe spotřebu horské chaty za den (3044Wh) se započítanými vnitřními ztrátami, můžeme vypočítat celkový potřebný počet fotovoltaických panelů.

### 5.2.1 Výpočet pro denní provoz v období březen až září

Výpočet 1Wp výkonu fotovoltaického panelu  $E_p$  [13]:

$$E_p = \frac{E_{dbřbřez}}{P_{FV}} = \frac{830\text{Wh}}{235\text{W}} = 3,53\text{W} \quad (5.5)$$

Výkon fotovoltaických panelů  $E_{FV}$  [13]:

$$E_{FV} = \frac{E_{MWAK}}{E_p} = \frac{3044\text{Wh}}{3,53\text{W}} = 862\text{Wp} \quad (5.6)$$

Počet fotovoltaických panelů  $M_{FV}$  [13]:

$$M_{FV} = \frac{E_{FV}}{P_{FV}} = \frac{862\text{Wp}}{235\text{W}} = 3,67 \approx 4\text{ks} \quad (5.7)$$

Protože budeme využívat chatu pouze o víkendu, svátcích nebo dovolených, můžeme výkon fotovoltaických panelů přizpůsobit tomuto režimu. V průměru za rok horskou chatu využíváme pouze 2 dny v týdnu, proto budeme výpočet směřovat na víkendový provoz chaty.

Výkon fotovoltaických panelů zmenšíme tak, že vypočítaný výkon vydělíme počtem dní v týdnu (7 dní) a vynásobíme počtem dní, které budeme týdně trávit na horské chatě.

## 5.2.2 Výpočet pro víkendový provoz

Výpočet výkonu pro víkendový provoz ( 2 dny )  $E_{2dny}$  [13]:

$$E_{2dny} = \frac{E_{MWAK}}{T} \cdot d = \frac{3044\text{Wh}}{7\text{dny}} \cdot 2\text{dny} = 870\text{Wh} \quad (5.8)$$

Výkon fotovoltaických panelů  $E_{FV}$  [13]:

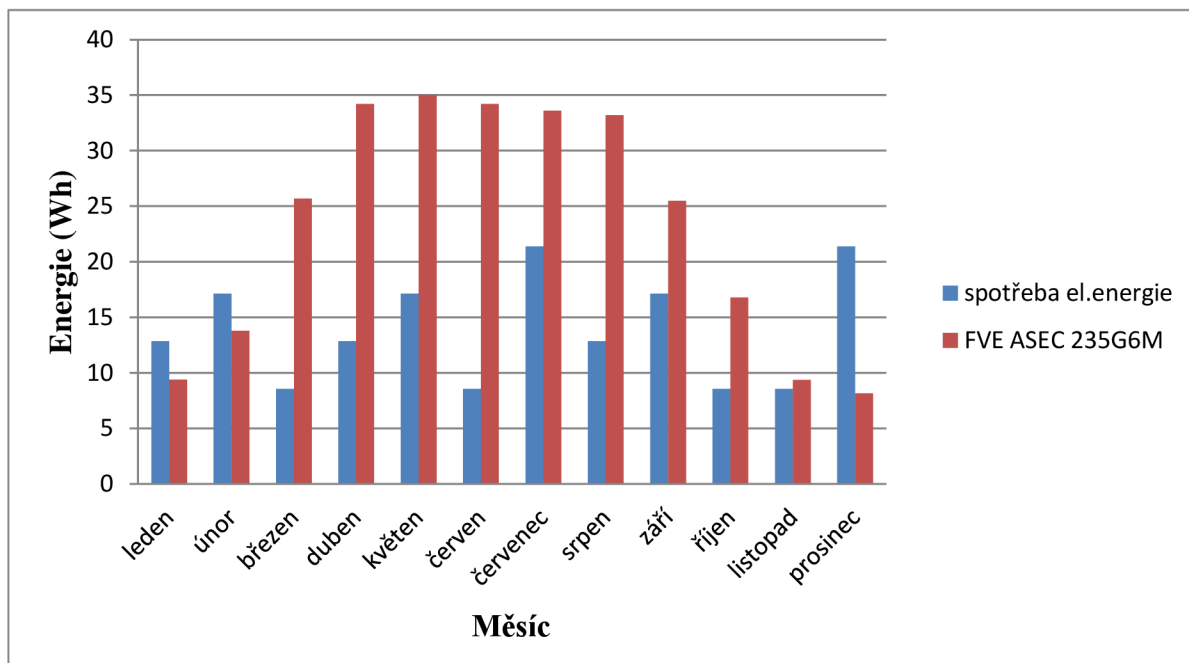
$$E_{FV} = \frac{E_{2dny}}{E_p} = \frac{870\text{Wh}}{3,53\text{Wh}} = 246\text{Wh} \quad (5.9)$$

Počet fotovoltaických panelů  $M_{FV}$  [13]:

$$M_{FV} = \frac{E_{FV}}{P_{FV}} = \frac{246\text{Wh}}{235\text{W}} = 1,05 \approx 1\text{ks} \quad (5.10)$$

Dle výpočtu jsme stanovili počet fotovoltaických panelů typu ASEC 235G6M po zaokrouhlení na 1ks pro víkendový provoz.

Jak je vidět na obrázku 5-1, fotovoltaický zdroj pokrývá spotřebu elektrické energie pouze v jarních a letních měsících. V zimních měsících je nutné dodat do horské chaty elektrickou energii z jiného zdroje, v našem případě z malé větrné elektrárny.



Obr. 5-1 Porovnání výroby a spotřeby elektrické energie z FVE ASEC235G6

### 5.3 Návrh větrného zdroje

Jako dodatečný zdroj jsme použili větrnou elektrárnu o výkonu 200W umístěnou na stožáru ve výšce 8m nad terénem, která by měla doplnit výpadek elektrické energie z fotovoltaických panelů způsobený vlivem nepříznivých podmínek slunečního záření v podzimním a zimním období.

Z uvedených dat v tabulce 5-1 předběžně vyplývá, že využití větrného zdroje v naší oblasti bude vhodné vzhledem k vyšší spotřebě elektrické energie horské chaty v zimních měsících a předpokládané nižší nebo žádné produkci elektrické energie z fotovoltaické elektrárny v zimních měsících. Z tabulky 5-1 také vyplývá, že ostrovní systém bude mít vyšší nároky na akumulaci elektrické energie z důvodu nízké nebo žádné rychlosti větru do 3m/s a vyšší spotřebě elektrické energie v zimních měsících hlavně v prosinci a lednu.

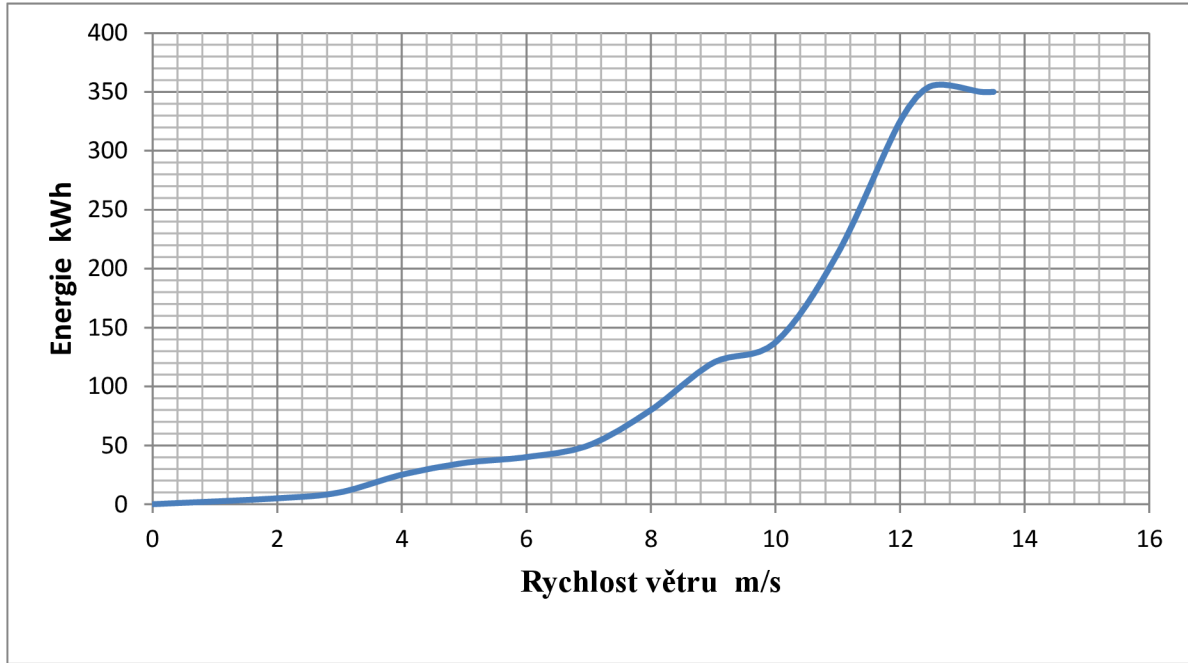
Pro stanovení množství vyrobené elektrické energie v jednotlivých měsících, uvedené v tabulce 5-1, použijeme výkonovou charakteristiku větrné elektrárny, která uvádí závislost výroby elektrické energie na rychlosti větru, jak je vidět na obr. 5-2. Poté provedeme součet vyrobené elektrické energie z větrného a fotovoltaického zdroje a porovnáme se spotřebou elektrické energie horské chaty. Veškeré vypočítané a odečtené údaje zaneseme do grafu a vyhodnotíme vyrobenou elektrickou energii z obou zdrojů a porovnáme se spotřebou elektrické energie horské chaty.

Tab. 5-1 Výkon větrné elektrárny odečtený z výkonové charakteristiky VTE 200.H1

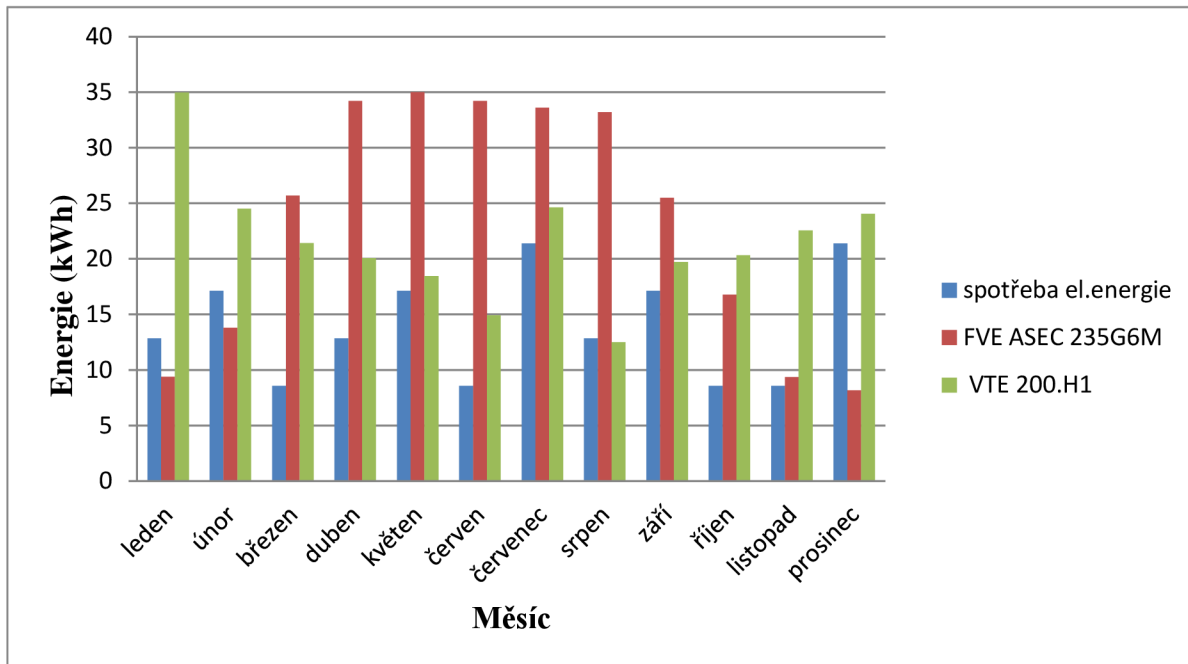
Rychlost větru m/s	Měsíc											
	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,12	0,15	0,36	0,48	0,41	0,74	0,61	0,83	0,39	0,33	0,48	0,28
3	0,70	0,66	1,26	1,08	1,48	1,45	1,32	2,05	1,01	1,10	0,87	1,18
4	3,35	2,43	3,58	3,15	4,16	3,29	3,71	3,66	3,83	4,33	3,19	3,54
5	4,7	5,37	5,95	5,36	5,66	3,68	4,64	2,58	6,06	6,08	5,23	4,95
6	4,92	5,79	4,59	4,8	4,05	2,59	3,48	1,75	4,25	4,25	4,55	4,57
7	5,38	3,44	2,49	2,79	1,96	1,65	1,64	0,84	2,77	2,81	3,5	3,8
8	5,52	3,06	1,66	1,50	0,62	1,34	0,58	0,30	1,30	1,22	3,21	4,12
9	5,20	2,30	0,1	0,6	0,096	0,16	0,28	0,24	0,096	0,20	1,32	1,46
10	2,99	0,89	0,85	0,30	0	0,027	0,096	0,11	0	0	0,22	0,11
11	2,09	0,43	0,57	0	0	0	0,149	0,15	0	0	0	0,043
Celkem kWh	34,97	24,52	21,41	20,06	18,44	14,93	24,63	12,51	19,71	20,32	22,57	24,05

Z obrázku 5-3 lze vidět přírůstky elektrické energie jednotlivých zdrojů. V podzimních a zimních měsících jasně převládá větrný zdroj elektrické energie a v jarních a letních měsících zase fotovoltaický zdroj. Z obrázku 5-3 a obrázku 5-4 je patrné, že produkce elektrické energie z navržených zdrojů vyhovuje spotřebě horské chaty.



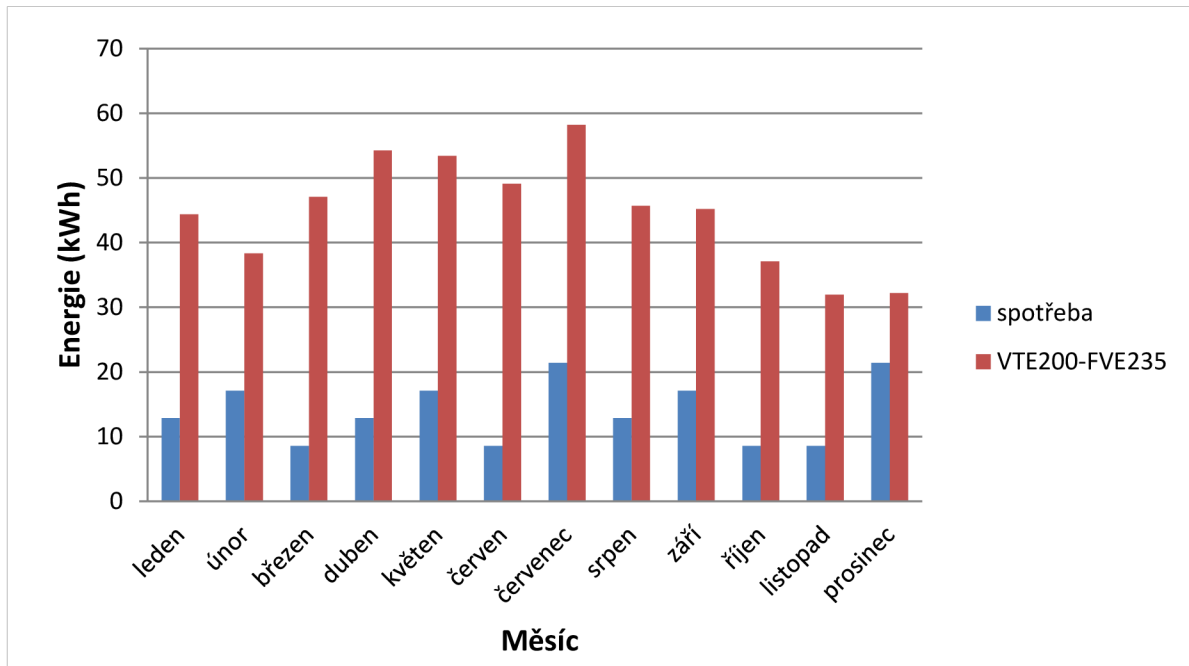


Obr. 5-2 Výkonová charakteristika větrné elektrárny VTE200.H1, modifikováno z [15]



Obr. 5-3 Přírůstek energie FVE a VTE v porovnání se spotřebou elektrické energie

Na obrázku 5-4 jsou znázorněny sečtené údaje o vyrobené elektrické energii z větrné elektrárny VTE200.H a 1ksu fotovoltaického panelu ASEC 235G6M.



Obr. 5-4 Přírůstky energie FVE a VTE v porovnání se spotřebou elektrické energie

Navržená fotovoltaická a větrná elektrárna vyhovují svojí výrobou elektrické energie potřebám horské chaty. Na obrázku 5-3 je patrné, jak větrná elektrárna kompenzuje nedostatek elektrické energie fotovoltaické elektrárny v zimních měsících.

V zimních měsících vyrobená elektrická energie výrazně převyšuje spotřebu elektrické energie horské chaty. Údaje o vyrobené elektrické energii z fotovoltaické elektrárny mohou být v zimních měsících zkreslené. Je to dáno tím, že údaje o intenzitě slunečního záření v zimních měsících nezohledňují fakt, že fotovoltaická elektrárna nevyrábí žádnou elektrickou energii v době, kdy na fotovoltaických panelech umístěných na střeše horské chaty leží vrstva sněhu. Proto musíme počítat ze skutečností, že fotovoltaické panely, i když mají jakkoli vylepšený povrch panelů pro skluz sněhu, mohou vyrábět v zimních měsících minimální nebo žádnou elektrickou energii. Z toho důvodu je výhodné využít např. větrnou elektrárnu jako dodatečný zdroj elektrické energie a tím pokrýt období s nedostatkem elektrické energie.

## 5.4 Návrh akumulátorů pro ostrovní systém využívající fotovoltaickou a větrnou elektrárnu

Pro zálohování elektrické energie z fotovoltaické a větrné elektrárny jsme zvolili olověné staniční baterie s gelovým elektrolytem typu OPzV PowerSafe. Akumulátory typu OPzV jsme zvolili s ohledem na jejich vysokou provozní bezpečnost, vynikající regeneraci při hlubokém vybití, odolnost při cyklickém zatěžování, vysokou dobu životnosti (až 20 let při 20°C) a vysokou hustotu energie [12].

Příkon elektrické energie horské chaty jsme stanovili na 2252Wh se započítanými vnitřními ztrátami v MPPT měniči, ve svorkách a kabelech. Ostatní ztráty jsme nezapočítali, protože se jedná o odběr elektrické energie pouze z plně nabitých akumulátorů [13].

Z tabulky 5-1 je patrné, že výroba elektrické energie z větrné elektrárny je nulová do rychlosti větru 3m/s, což činí v měsíci prosinec 91,3 hodin (4 dny). Pro zlepšení pobytových podmínek a vyloučení nedostatku elektrické energie v zimních měsících navýšíme vypočítanou kapacitu baterií o 20%.

Horská chata bude napájena z akumulátorů a převážně využívána víkendově, proto volíme minimální zálohu elektrické energie v akumulátorech na 4 dny.

**Výpočet kapacity akumulátorů  $C_B$  [8]:**

$$C_B = \frac{E_Z \cdot n}{V_B \cdot DOD_{max} \cdot T_{CF} \cdot \eta_B} = \frac{2322 \text{Wh} \cdot 4 \text{dny}}{24 \text{V} \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,8} = 597 \text{Ah} \quad (5.11)$$

**Navýšení kapacity akumulátorů o 20% energie:**

$$C_{B+20\%} = C_B \cdot \eta_{+20\%} = 597 \text{Ah} \cdot 1,20 = 716,4 \text{Ah} \quad (5.12)$$

Kde  $C_B$  je kapacita akumulátoru,  $V_B$  napětí akumulátoru,  $DOD_{max}$  hloubka vybití baterie,  $T_{CF}$  teplotní korekční faktor,  $\eta_B$  účinnost baterie,  $E_Z$  energie spotřebovaná zátěží,  $n$  je počet dní bez dobíjení akumulátoru.

Volíme akumulátor **12x6OPzV 600**, jmenovitá kapacita **705Ah** při 20°C a 1,8V/ čl..

## 6 MODELOVÉ SITUACE

V této kapitole se budeme zabývat provozními situacemi a budeme posuzovat, jak se změní navržený systém, když změníme jeho provozní parametry.

Změna provozních parametrů bude spočívat ve zvýšení celkového příkonu horské chaty. V první modelové situaci horská chata bude stále využívána pouze o víkendech s tím, že přidáme spotřebič (domácí vodárnu 800W na čerpání užitkové vody ze studny) jak je znázorněno v tabulce 6-1. V druhé modelové situaci bude chata využívána celoročně v denním provozu s čerpáním užitkové vody ze studny.

### 6.1 Parametry pro víkendový provoz s čerpáním užitkové vody

Pro přehled všech použitých spotřebičů a jejich denní a měsíční spotřeby elektrické energie jsme sestavili tabulku 6-1 a tabulku 6-2.

Tab. 6-1 Seznam spotřebičů v horské chatě s domácí vodárnou

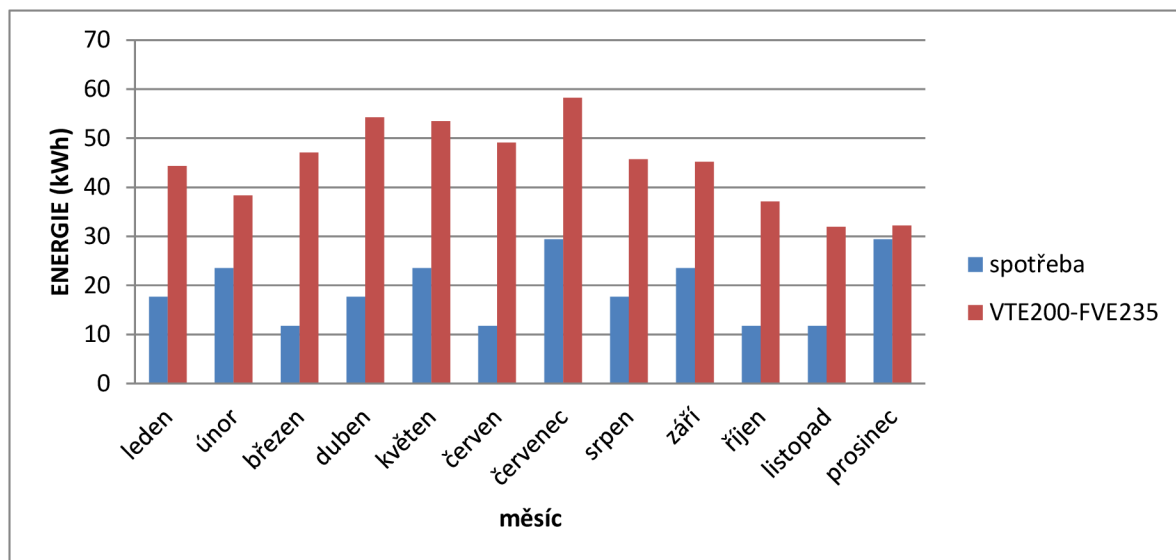
	Osvětlení	Televize	Čerpadlo kotle	Varná konvice	Mikrovlnná trouba	Vysavač	Lednice	Notebook	Nabíječka mobilů	Rádio	Ostatní	Domácí vodárna	Celkem
Počet (ks)	10	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	22
Příkon [W]	5,5	65	5	800	500	500	110	75	25	35	300	800	3220,5
Provoz v hod./den	3	2	15	0,3	1	0,2	4	1	1	2	1	1	31,5
Spotřeba za den [Wh]	165	125	75	240	500	100	440	75	50	70	300	800	2940

Tab. 6-2 Předpokládaná spotřeba v měsíci a roce

	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Celkem za rok [kWh]
Počet dní v provozu	6	8	4	6	8	4	10	6	8	4	4	10	
Měsíční spotřeba v [kWh]	17,64	23,52	11,76	17,64	23,52	11,76	29,4	17,64	23,52	11,76	11,76	29,4	229,32

Z tabulky 6-1 je zřejmé, že nám vzrostla denní spotřeba horské chaty a to o domácí vodárnu. U domácí vodárny máme indukční zátěž, což znamená, že při rozjezdu tohoto spotřebiče nám vzniká proudová špička, která může dosáhnout až trojnásobku jeho běžného provozu. Tuto skutečnost musíme zohlednit při návrhu celého systému.

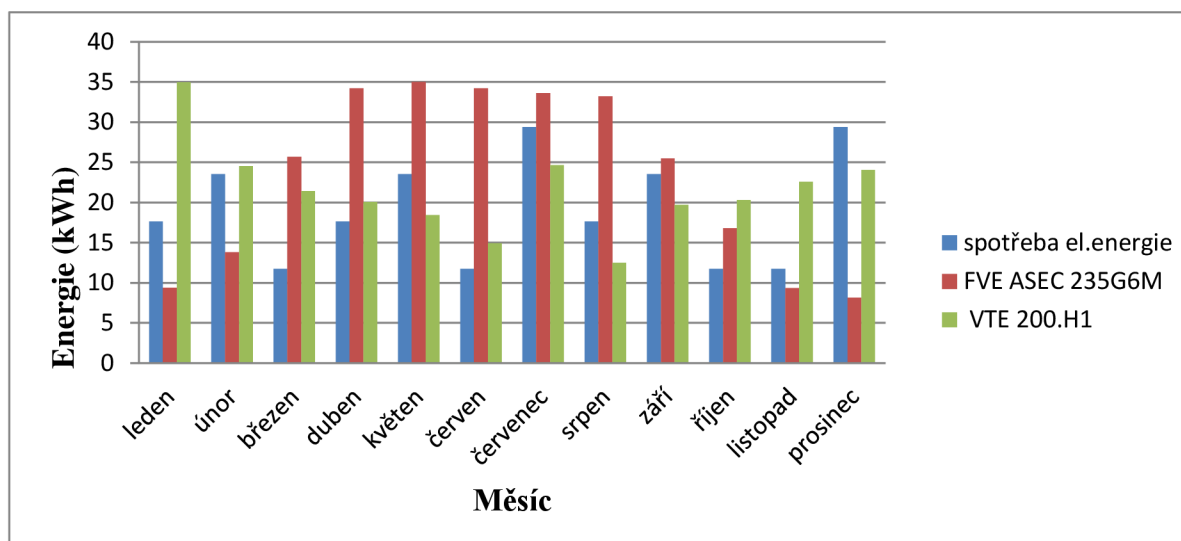
Dle kapitoly 6.1 jsme vypočítaly denní spotřebu elektrické energie horské chaty se započítanými vnitřními ztrátami na 4186kWh. Z vypočítané spotřeby jsme schopni vypočítat potřebný počet fotovoltaických panelů. Při výpočtech postupujeme stejně jako v kapitole 5.



Obr. 6-1 Sečtené přírůstky energie FVE a VTE v porovnání se spotřebou elektrické energie

Z obrázku 6-1 se zdá, že výroba elektrické energie z těchto dvou zdrojů je dostatečná, ale vzhledem k nadmořské výšce a reálné možnosti dlouhodobé sněhové pokrývky na střeše a fotovoltaických panelech je nutno zvolit výkonnější větrnou elektrárnu.

Z obrázku 6-2 je zřejmé, že fotovoltaický panel ASEC 235G6M pokrývá svou výrobou elektrické energie pouze měsíce březen až říjen. V měsících listopad až únor je výroba elektrické energie z fotovoltaické elektrárny nedostačující. Větrná elektrárna VTE200.H1, která má pokrýt zimní měsíce svou výrobou elektrické energie, tento požadavek nesplňuje a to v měsíci prosinec. V prosinci, lednu a únoru může být výroba elektrické energie z fotovoltaické elektrárny minimální nebo nulová. Proto je nutné zvýšit podíl vyrobené elektrické energie z větrné elektrárny.



Obr. 6-2 Jednotlivé přírůstky energie FVE a VTE v porovnání se spotřebou elektrické energie

## 6.2 Výpočet pro víkendový provoz s čerpáním užitkové vody

Výpočet výkonu pro víkendový provoz (2 dny)  $E_{2\text{dny}}$  [13]:

$$E_{2\text{dny}} = \frac{E_{M\text{WAK}}}{T} \cdot d = \frac{4186\text{Wh}}{7\text{dny}} \cdot 2\text{dny} = 1196\text{Wh} \quad (6.1)$$

Výkon fotovoltaických panelů  $E_{FV}$  [13]:

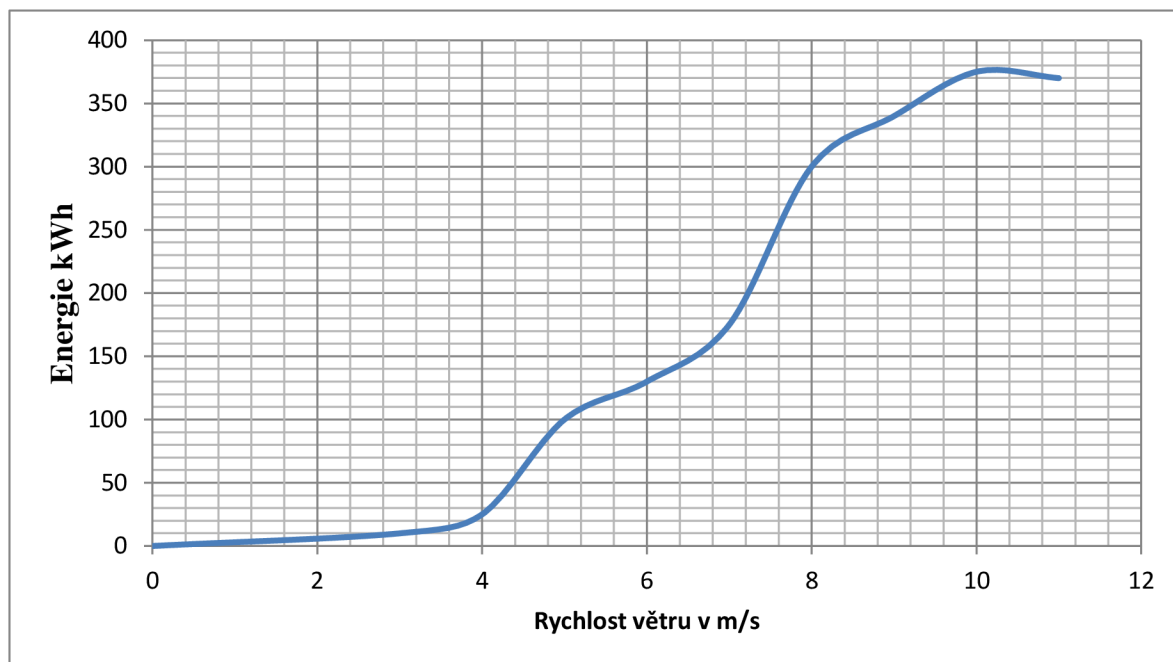
$$E_{FV} = \frac{E_{2\text{dny}}}{E_p} = \frac{1196\text{Wh}}{3,53\text{Wh}} = 338,81\text{Wh} \quad (6.2)$$

Počet fotovoltaických panelů  $M_{FV}$  [13]:

$$M_{FV} = \frac{E_{FV}}{P_{FV}} = \frac{339\text{Wh}}{235\text{W}} = 1,44 \approx 1\text{ks} \quad (6.3)$$

Jako druhý zdroj volíme malou větrnou elektrárnu VTE300.H1 o výkonu 300W při jmenovité rychlosti větru 8m/s.

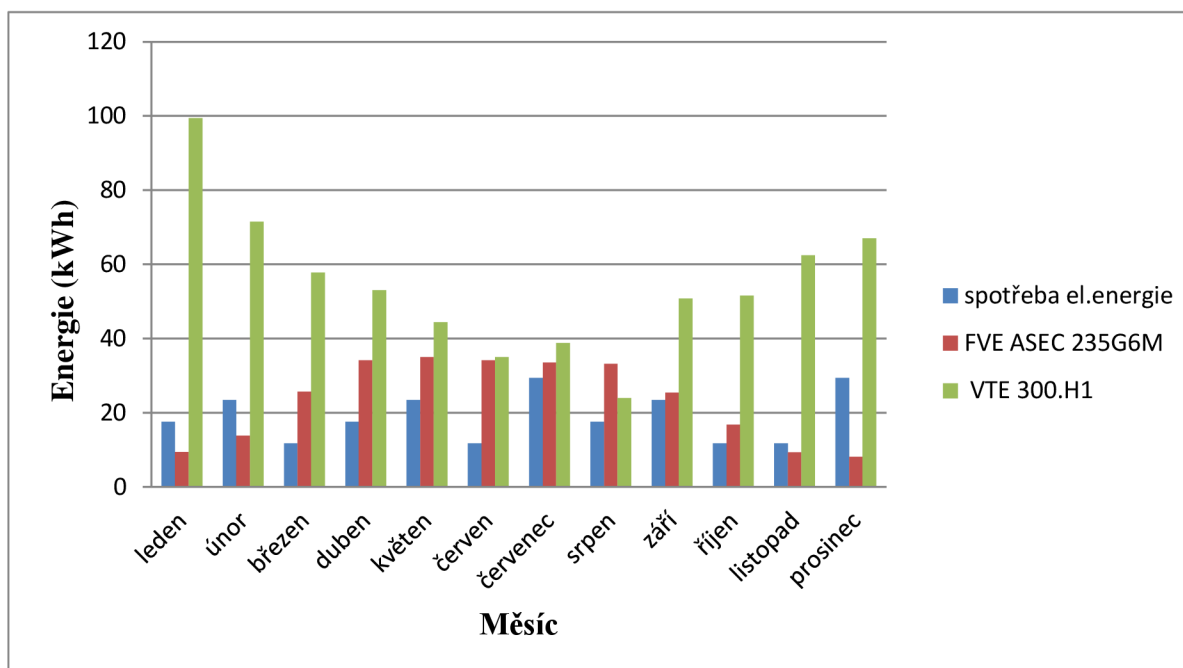
Z výkonové charakteristiky větrné elektrárny uvedené na obrázku 6-3, odečteme vyrobenou elektrickou energii v závislosti na rychlosti větru. Odečtené hodnoty z obrázku 6-3 jsou uvedeny v tabulce 6-3 a znázorněné v grafu na obrázku 6-4.



Obr. 6-3 Výkonová charakteristika větrné elektrárny VTE300.H1, modifikováno z [15]

Tab. 6-3 Výkon větrné elektrárny odečtený z výkonové charakteristiky VTE300.H1

Rychlost větru m/s	Měsíc											
	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0,69	0,66	1,26	1,08	1,48	1,45	1,32	2,04	1,012	1,09	0,87	1,18
4	3,35	2,42	3,58	3,14	4,15	3,29	3,71	3,65	3,83	4,32	3,19	3,54
5	13,45	15,33	17	15,3	16,18	10,52	13,25	7,37	17,32	17,37	14,95	14,13
6	16,02	18,81	14,92	15,6	13,16	8,41	11,31	5,68	13,81	13,81	14,79	14,86
7	18,85	12,04	8,72	9,77	6,86	5,78	5,72	2,92	9,68	9,84	12,25	13,3
8	20,7	11,49	6,21	5,64	2,34	5,04	2,19	1,11	4,89	4,59	12,03	15,45
9	14,72	6,53	2,82	1,7	0,27	0,44	0,78	0,68	0,27	0,59	3,74	4,15
10	8,14	2,44	2,33	0,83	0	0,075	0,26	0,3	0	0	0,6	0,3
11	3,53	1,8	0,97	0	0	0	0,25	0,25	0	0	0	0,072
Celkem kWh	99,46	71,53	57,82	53,08	44,45	35	38,79	24,01	50,81	51,62	62,43	66,99



Obr. 6-4 Jednotlivé přírůstky energie FVE a VTE v porovnání se spotřebou elektrické energie

Jak je vidět z obrázku 6-4, větrná elektrárna nám pokrývá svou výrobou elektrické energie celý rok víkendového provozu horské chaty. V případě, že bychom ponechali původní větrnou elektrárnu VTE200.H1, výroba elektrické energie by byla v prosinci nedostačující a v únoru by se pohybovala na hranici stabilní dodávky elektrické energie, jak je patrné z obrázku 6-3. Vzniklé přebytky elektrické energie bychom mohli využít na případný ohřev TUV v letních měsících.

### 6.3 Výpočet akumulátorů pro víkendový provoz s čerpáním užitkové vody

Pro výpočet akumulátoru použijeme stejný postup jako v kapitole 5.4.

Výpočet kapacity akumulátorů  $C_B$  [8]:

$$C_B = \frac{E_Z \cdot n}{V_B \cdot DOD_{max} \cdot T_{CF} \cdot \eta_B} = \frac{3191 \text{Wh} \cdot 4 \text{dny}}{24 \text{V} \cdot 0,9\% \cdot 0,9 \cdot 0,8\%} = 821 \text{Ah} \quad (6.4)$$

Navýšení kapacity akumulátorů o 20% energie:

$$C_{B+20\%} = C_B \cdot \eta_{+20\%} = 821 \text{Ah} \cdot 1,20\% = 985 \text{Ah} \quad (6.5)$$

Volíme akumulátor **12x100PzV 1000**, jmenovitá kapacita **1000Ah** při 20°C a 1,8V/ čl..

Můžeme říci, že navržený systém 1ks fotovoltaické elektrárny ASEC 235G6M s větrnou elektrárnou VTE 300.H1 je optimální a vcelku komfortní variantou, kterou můžeme poskytnout pro dodávku elektrické energie do horské chaty. Tato varianta počítá i s dodávkou vody do celého objektu, čímž se tento objekt stává komfortním rekreačním zařízením na víkendové pobyty.

### 6.4 Výpočet pro denní provoz s čerpáním užitkové vody

Výpočet 1Wp výkonu fotovoltaického panelu  $E_p$  [13]:

$$E_p = \frac{E_{dbřbřez}}{P_{FV}} = \frac{830 \text{Wh}}{235 \text{W}} = 3,53 \text{W} \quad (6.6)$$

Výkon fotovoltaických panelů  $E_{FV}$  [13]:

$$E_{FV} = \frac{E_{MWAK}}{E_p} = \frac{4186 \text{Wh}}{3,53 \text{W}} = 1186 \text{Wp} \quad (6.7)$$

Počet fotovoltaických panelů  $M_{FV}$  [13]:

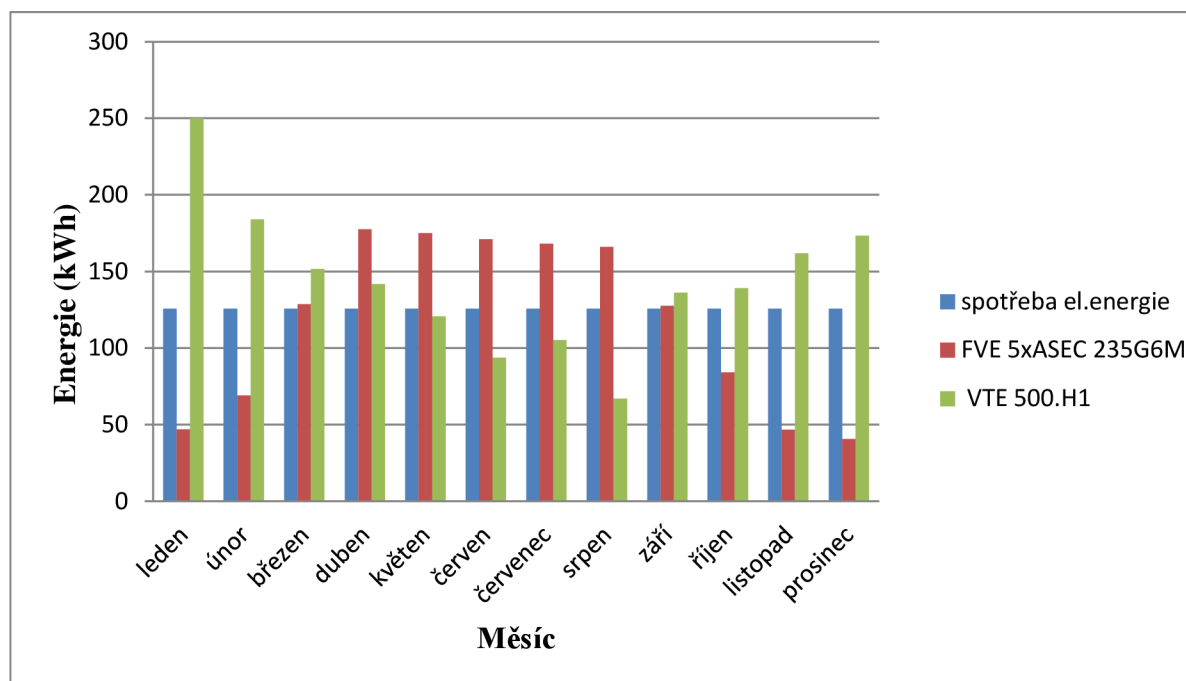
$$M_{FV} = \frac{E_{FV}}{P_{FV}} = \frac{1186 \text{Wp}}{235 \text{W}} = 5,05 \approx 5 \text{ks} \quad (6.8)$$

Z rovnice 6.11 jsme vypočítali, že horská chata potřebuje 5ks fotovoltaických panelů ASEC235G6M pro pokrytí dodávky elektrické energie v jarních a letních měsících. Jako druhý zdroj jsme zvolili větrnou elektrárnu VTE500.H1, pro pokrytí dodávky elektrické energie do horské chaty v zimních měsících.



Denní spotřeba elektrické energie zůstala stejná, zvýšila se nám pouze měsíční spotřeba elektrické energie, která vede k vyšším nárokům na výrobu elektrické energie z větrné i fotovoltaické elektrárny.

Přehled výroby a spotřeby elektrické energie je zobrazen na obrázku 6-5. Z obrázku je patrné, že obě elektrárny se navzájem doplňují a společně pokrývají spotřebu elektrické energie horské chaty.



Obr. 6-5 Jednotlivé přírůstky energie FVE a VTE v porovnání se spotřebou elektrické energie

## 7 REKAPITULACE NAVRŽENÝCH OSTROVNÍCH SYSTÉMŮ

V této kapitole shrneme základní části navržených ostrovních systémů v lokalitě Stará Ves u Rýmařova.

V rekapitulaci se nezabýváme kabelovou instalací, jištěním a rozvodnou skříní.

### 7.1 Víkendový provoz bez domácí vodárny na čerpání užitkové vody ze studny

**Ostrovní systém obsahuje tyto základní části:**

- 1ks fotovoltaický panel ASEC 235G6M,
- 1ks větrná elektrárna VTE 200.H1,
- 1ks střídač Windy Boy 1200,
- 1ks regulátor nabíjení SMA Sunny Island Charger 40,
- 1ks střídač Sunny Island 2224,
- 12ks akumulátor 6xOPzV600.

U ostrovního systému bez napájení domácí vodárny z fotovoltaické a větrné elektrárny musíme vyřešit dodávku vody do objektu jiným způsobem. Jedna z možností je napájet domácí vodárnu z malé benzínové elektrocentrály, která by byla dimenzovaná dle spotřeby elektrické energie domácí vodárny. Voda by byla čerpána pouze jednou za víkend do nádrže umístěné v půdním prostoru, odkud by byla dále distribuovaná do objektu samospádem za pomoci malého oběhového čerpadla.

### 7.2 Víkendový provoz s domácí vodárnou na čerpání užitkové vody ze studny

**Ostrovní systém obsahuje tyto základní části:**

- 1ks fotovoltaický panel ASEC 235G6M,
- 1ks větrná elektrárna VTE 300.H1,
- 1ks střídač Windy Boy 1200,
- 1ks regulátor nabíjení SMA Sunny Island Charger 40,
- 1ks střídač Sunny Island 3324,
- 12ks akumulátor 10OPzV1000.

Tento systém je optimální pro provoz objektu pouze za dodržení stanovených podmínek odběru elektrické energie (pouze pro víkendový provoz).

### 7.3 Celoroční (denní) provoz při zachování stejného odběru elektrické energie

Vycházíme z varianty, která obsahuje domácí vodárnu napájenou z fotovoltaické a větrné elektrárny. Při celoročním provozu horské chaty a při stejném odběru elektrické energie se nám zvýší nároky na výrobu elektrické energie z větrné a fotovoltaické elektrárny. Pokud se nám nezmění denní spotřeba elektrické energie, počet akumulátorů pro 4denní zálohu zůstane stejný.

#### **Ostrovní systém s denním provozem obsahuje tyto základní části:**

- 5ks fotovoltaický panel ASEC 235G6M,
- 1ks větrná elektrárna VTE 500.H1,
- 1ks střídač Windy Boy 1200,
- 1ks regulátor nabíjení SMA Sunny Island Charger 40,
- 1ks střídač Sunny Island 5048,
- 12ks akumulátor 10OPzV1000.

Při celoročním provozu je vhodnější, aby odběr elektrické energie menších spotřebičů byl dodáván přímo z větrné a fotovoltaické elektrárny přes regulátor napětí pro napojení spotřebičů využívající rozvod 12V-24V, případně přes měnič pro spotřebiče využívající rozvod 230V. Je to z důvodu lepší účinnosti celého systému, ve kterém bychom mohli částečně omezit ztráty elektrické energie vznikající v akumulátorech. Akumulátory by se používaly pouze při nedostatku elektrické energie. Vyrobena elektrická energii, kterou horská chata nevyužije, se bude ukládat do akumulátorů.

## 8 CENOVÁ KALKULACE NAVRŽENÝCH SYSTÉMŮ

V této kapitole provedeme zjednodušenou cenovou kalkulaci navržených systémů a vybereme ekonomicky a provozně nejpříjemnější ostrovní systém.

### 8.1 Pořizovací náklady ostrovního systému bez domácí vodárny pracujícího ve víkendovém režimu

1 ks	fotovoltaický panel ASEC 235G6M	7096,-	Kč
1 ks	regulátor nabíjení SMA Sunny Island Charger 40	24154,-	Kč
1 ks	větrná elektrárna VTE200.H1	23800,-	Kč
1 ks	Windy boy 1200	29183,-	Kč
1 ks	Sunny Island 3324	49840,-	Kč
12 ks	akumulátor 10OPzV600 (4 dny záloha)	113596,-	Kč
	Sada pro uchycení 1ks fotovoltaického panelu	2500,-	Kč
	Sada pro připojení akumulátorů	2000,-	Kč
<b>Celkem bez DPH</b>		<b>252169,-</b>	<b>Kč</b>

### 8.2 Pořizovací náklady ostrovního systému včetně domácí vodárny pracujícího ve víkendovém režimu

1 ks	fotovoltaický panel ASEC 235G6M	7096,-	Kč
1 ks	regulátor nabíjení SMA Sunny Island Charger 40	24154,-	Kč
1 ks	větrná elektrárna VTE300.H1	25900,-	Kč
1 ks	Windy boy 1200	29183,-	Kč
1 ks	Sunny Island 4428	56556,-	Kč
12 ks	akumulátor 10OPzV1000 (4 dny záloha)	185244,-	Kč
	Sada pro uchycení 1ksfotovoltaického panelu	2500,-	Kč
	Sada pro připojení akumulátorů	2500,-	Kč
<b>Celkem bez DPH</b>		<b>333133,-</b>	<b>Kč</b>

### 8.3 Pořizovací náklady ostrovního systému včetně domácí vodárny pracujícího ve víkendovém režimu

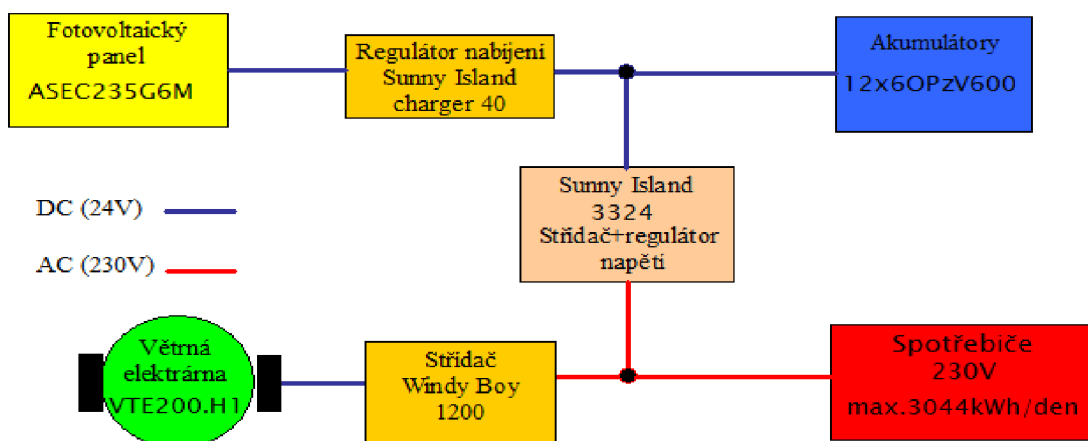
5 ks	fotovoltaický panel ASEC 235G6M	35480,-	Kč
1 ks	regulátor nabíjení SMA Sunny Island Charger 40	24154,-	Kč
1 ks	větrná elektrárna VTE500.H1	32200,-	Kč
1 ks	Windy boy 1200	29183,-	Kč
1 ks	Sunny Island 4428	74999,-	Kč
12 ks	akumulátor 10OPzV1000 ( 4 dny záloha)	185244,-	Kč
	Sada pro uchycení 5ks fotovoltaického panelu	12500,-	Kč
	Sada pro připojení akumulátorů	2500,-	Kč
<b>Celkem bez DPH</b>		<b>396260,-</b>	<b>Kč</b>

Cena nezahrnuje přípravu staveniště (betonové základny pro stožár větrné elektrárny a výkopové práce pro kabelové vedení od stožáru do objektu), elektromontážní práce, jistící prvky, dopravu na staveniště a vypracování podkladů pro stavební povolení včetně projektové dokumentace. Cena zahrnuje pouze základní části ostrovního systému.

### 8.4 Výběr vhodného systému

Z důvodu, že horská chata bude využívána jen o víkendových pobytech, volíme variantu č. 1 (ostrovní systém pracující ve víkendovém režimu bez domácí vodárny napájené ze systému). Z ekonomických důvodů je výhodnější napájet domácí vodárnu z malé benzínové elektrocentrály, která svou pořizovací hodnotou zdaleka nepřevyšší cenu varianty č. 2 (ostrovní systém pracující ve víkendovém režimu včetně domácí vodárny napájené ze systému). Samozřejmě objekt musí být užíván s ohledem na jeho provozní možnosti, kterými jsme limitováni při nutnosti použití ostrovních systémů.

Na obrázku 8-1 jsme znázornili přehledové schéma zapojení ostrovního systému.



Obr. 8-1 Přehledové schéma zapojení vybraného ostrovního systému

## 9 ZHODNOCENÍ NAVRŽENÉHO SYSTÉMU

Tato bakalářská práce řeší problematiku dodávky elektrické energie horské chaty v dané lokalitě. Navržený systém uvedený v kapitole 6, využívající fotovoltaickou elektrárnu FVE 235G6M a větrnou elektrárnu VTE200.H1 je přijatelným řešením pro dodávku elektrické energie do horské chaty. Skutečnost, že horská chata se nachází lokalitě bez možnosti připojení na DS a majitelé chtějí chatu plnohodnotně využívat, ostrovní systém nabízí možnost, jak tyto požadavky splnit. Systém je navržen pro víkendový provoz a to tím způsobem, že ve všední dny jsou dobíjeny akumulátory, ze kterých je horská chata zásobována elektrickou energií v době víkendových pobytů. To znamená, že nároky na výkon fotovoltaických panelů a větrného zdroje jsou nižší než by tomu bylo při provozování systému s denním využitím. Tímto způsobem také výrazně snižujeme pořizovací náklady ostrovního systému.

V případě připojení těchto systémů do distribuční soustavy by to částečně řešilo problémy s kolísavými výkony fotovoltaických a větrných elektráren, které dodávají elektrickou energii do DS mnohdy v době, kdy je elektrické energie dostatek. Pokud by všechny tyto systémy byly vybaveny zařízeními pro uchování elektrické energie, potom by v době s nedostatkem elektrické energie pracovali přímo do DS a v době přebytku elektrické energie by ukládali vyráběnou elektrickou energii do těchto akumulátorů. Pro uchování elektrické energie můžeme použít různé druhy zařízení, jako jsou (přečerpávací elektrárny, setrvačníky, supekondenzátory, akumulátory atd.) [9].

V současné době se v České republice používají pro vyrovnání kolísavých výkonů a akumulování elektrické energie přečerpávací elektrárny, které umožňují dlouhodobě a efektivně akumulovat energii ve formě vody. Mezi největší přečerpávací elektrárny v České republice patří Dlouhé Stráně o výkonu 650MW, Dalešice o výkonu 450MW a Štěchovice výkonu 45MW [18].

## 10 ZÁVĚR

Cílem práce byl popis fotovoltaického a větrného zdroje se zvoleným druhem akumulace pracujícím v ostrovním systému.

Ostrovní systémy používáme pouze v případech, kdy není možné připojení k DS, v případech kdy se příkon zařízení pohybuje v řádech desítek wattů a jeho realizace není tak finančně náročná nebo v případě, kdy připojení k DS převyšuje pořizovací náklady na realizaci a uvedení do provozu tohoto systému [9].

Ostrovní systémy jsou vhodné alternativy pro výrobu elektrické energie ve špatně dostupných lokalitách, jako jsou bezmotorové plachetnice, lodě, odlehlé chaty, chalupy, pro napájení karavanů, přívěsů, odlehlých vědeckých pracovišť atd. V elektrotechnice se naakumulovaná energie nejčastěji používá na zálohování malých systémů, jako jsou počítačové sítě, zabezpečovací a monitorovací systémy, pro napájení systémů s malým nebo časově omezeným odběrem elektrické energie atd. [7].

Samozřejmě v dnešní době existují ostrovní systémy velkých výkonů v řádech MW, které zásobují elektrickou energií vesnice a dokonce i města nebo jejich části (např. 34 MW NaS zařízení pro větrnou farmu o výkonu 51MW v Rokkasho, v Japonsku), ale tato zařízení jsou ekonomicky nákladná [9].

První část bakalářské práce je zaměřena na popis fotovoltaických a větrných systémů včetně akumulace elektrické energie pracujících v různých režimech.

V druhé části práce jsme se zabývali návrhem ostrovního systému využívající fotovoltaický a větrný zdroj s akumulací elektrické energie. Dle provozních požadavků horské chaty jsme navrhli vhodné zdroje a akumulátory elektrické energie. Tyto zdroje spolehlivě zásobují horskou chatu elektrickou energií nezávisle na DS. Akumulátory jsme dimenzovali na čtyři dny provozu bez dodávky elektrické energie z fotovoltaické a větrné elektrárny, což by mělo být dostačující pro bezproblémový provoz i v zimním období.

V třetí části jsme se zabývali modelovými situacemi ostrovního systému, kde změníme spotřebu elektrické energie a pobytové využití horské chaty. Při víkendovém provozu horské chaty a změně spotřeby, která spočívala v přidání domácí vodárny o výkonu 800W a výtlačku 3000l vody za hodinu z hloubky 8m, se výrazně nezměnily nároky na výrobu elektrické energie. Zvýšili se nároky na akumulaci elektrické energie. Je to dáno tím, že uvedené zdroje pracují ve všední dny do akumulátorů. V tyto dny horská chata nemá žádný nebo minimální odběr elektrické energie a víkendový pobyt je zásobován elektrickou energií z akumulátorů. V denním provozu horské chaty se zvýšili nároky na výrobu elektrické energie jak z fotovoltaické, tak i z větrné elektrárny. Nároky na akumulaci elektrické energie se nezměnily, protože spotřeba elektrické energie horské chaty zůstala stejná. Z modelových situací je patrné, že spotřeba elektrické energie je závislá na vyrobené elektrické energie z fotovoltaické a větrné elektrárny. Spolehlivost dodávky elektrické energie je daná slunečními a povětrnostními podmínkami, kvalitními výrobky a součástkami použitými v ostrovním systému a vhodném dimenzování kapacity akumulátorů.

Z cenové kalkulace je patrné, že denní využívání horské chaty výrazně zvyšuje pořizovací náklady celého systému. Nejvýraznější položkou cenové kalkulace jsou akumulátory, které tvoří téměř polovinu pořizovací ceny hlavních částí ostrovního systému.

Energetické potřeby civilizace stále rostou, proto je potřeba hledat nové a zdokonalovat obnovitelné zdroje elektrické energie, které budou šetrné k životnímu prostředí a budou schopny produkovat dostatek elektrické energie nezávisle na čase pro pokrytí potřeb civilizace [9].

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] MOTLÍK, J. a kol. *Obnovitelné zdroje energie*. Česká agentura pro obnovitelné zdroje energie. [online]. 2007. [cit. 2011-12-09]. Dostupný z <http://www.cez.cz/edee/content/file/energie-a-zivotni-prostredi/oze-cr-all-17-01-obalka-in.pdf>
- [2] WHOLESAL SOLAR. *Learn More About Off-grid Power Systems*. Wholesale Solar. [online]. [cit. 2011-12-10]. Dostupný z <http://www.wholesalesolar.com/products.folder/systems-folder/OFFGRID.html>
- [3] ČSVE Česká společnost pro větrnou energii [online]. Dostupný z <http://www.csve.cz/clanky/z-historie-vyuzivani-energie-vetru-v-ceskych-zemich/36>
- [4] ALTERNATIVNÍ ZDROJE ENERGIE. *Větrné elektrárny*. Alternativní zdroje energie. [online]. [cit. 2011-12-12]. Dostupný z <http://www.alternativni-zdroje.cz/vetrne-elektrarny.htm>
- [5] EKOWATT. *Energie větru*. Ekowatt [online]. 2007. [cit. 2011-12-12]. Dostupný z <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-nergie/energie-vetru>.
- [6] ČEZ. *Solární (fotovoltaické) články*. ČEZ. [online]. 2011, květen [cit. 2011-12-13]. Dostupný z <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>.
- [7] SRDEČNÝ, K. *Fotovoltaika v budovách*. 1. vyd. Praha: Ekowatt, 2009. ISBN: 978-80-87333-04-4.
- [8] DVOŘÁK, P. a kol. *Akumulace elektřiny*. Tzbinfo. [online]. [cit. 2011-10-12]. Dostupný z <http://energie.tzb-info.cz/7435-akumulace-elektriny>.
- [9] ČEZ. *Akumulace energie*. ČEZ. [online]. [cit. 2011-12-13]. Dostupný z <http://www.cez.cz/cs/vyzkum-a-vzdelavani/vyzkum-a-vyvoj/trendy-v-energetice/akumulace-energie.html>.
- [10] MURTINGER, K. a kol. *Fotovoltaika. Elektřina ze slunce*. 1. vyd. Brno: ERA, 2007. ISBN: 978-80-7366-100-7.
- [11] PVGIS [online]. *European Communities, c2001-2007* [cit. 2012-3-16]. Dostupný z <http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/pvest.php?lang=sk&map=europe>
- [12] EnerSys – EMEA product [online]. Dostupný z [http://www.enersys-emea.com/reserve/pdf/CZ-OPzV-RS-006\\_1212.pdf](http://www.enersys-emea.com/reserve/pdf/CZ-OPzV-RS-006_1212.pdf)
- [13] PAXEL HNILICA – *Solární moduly*. [online]. Dostupný z <http://www.solarnimoduly.cz/jaky-akumulator.html>
- [14] SKRIPTA, *Alternativní zdroje energie* Ing. Jiří Vaněk, Ph.D. Ing. Petr Křivík, Ph.D. Ing. Vítězslav Novák, Ph.D. Brno VUT 2006
- [15] PROFORMANCE s.r.o, *Malé a střední větrné elektrárny* [online]. Dostupný z <http://www.vetrnesystemy.cz/vetrne-elektrarny/>.
- [16] Termojaderná fúze [online]. c2008 , 16.2.2009 [cit. 2009-03-31]. Dostupný z <http://www.nazeleno.cz/termojaderna-fuze-energeticka-spasa-neboarmageddon.aspx>.
- [17] SUNLIGHT, [online]. Sunlight, 2012 [cit. 2012-2-11]. Dostupný z [http://www.systems-sunlight.com/?contentid=51&langflag=\\_en](http://www.systems-sunlight.com/?contentid=51&langflag=_en)
- [18] SOLARHAUS, [online]. Dostupný z <http://www.solarhaus.cz/co-je-fotovoltaika>



- 
- [19] NAZELENO, [online]. Dostupný z <http://www.nazeleno.cz/energie/vodni-energie/vodni-elektrarny-v-ceske-republice-kolik-vyrobi-elektriny.aspx>