

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

AUTONOMNÍ DŮM ANEB ŽIVOT GRID-OFF

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. RADEK CHLEBNÝ

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student: Bc. Radek Chlebný

ID: 98621

Ročník: 2

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Autonomní dům aneb život grid-off

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Rešerše současného stavu problematiky autonomních zdrojů.
2. Specifikace domů a budov dle energetické náročnosti.
3. Specifikace způsobů provedení domovní elektroinstalace.
4. Specifikace energetické náročnosti zvoleného objektu rezidenčního typu.
5. Návrh, výpočet a ekonomická analýza autonomního systému napájení zvoleného objektu.
6. Zhodnocení a závěr práce.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 24.5.2013

Vedoucí práce: Ing. Jan Macháček, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

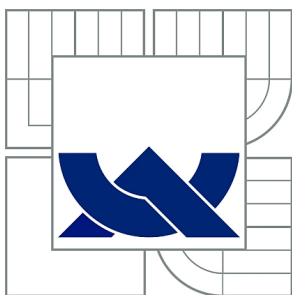
Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných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

Bibliografická citace práce:

CHLEBNÝ, R. *Autonomní dům aneb život grid-off*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 85 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Macháček, Ph.D.

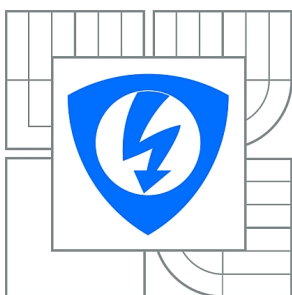
Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského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

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

AUTONOMNÍ DŮM ANEB ŽIVOT GRID-OFF

THE AUTONOMOUS HOUSE OR LIVING GRID-OFF

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. RADEK CHLEBNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN MACHÁČEK, Ph.D.

BRNO 2013

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá energetickou soběstačností se zaměřením na nezávislost na elektrické rozvodné síti. Základní linií linoucí se projektem tvoří konkrétní návrh autonomního systému zásobování elektrickou energií. Důraz je především kladen na fotovoltaické ostrovní systémy, akumulaci elektrické energie a na výběr jednotlivých komponent takového systému. Neméně důležitou součástí práce je i ekonomické zhodnocení jednotlivých variant návrhu. Práce se také zabývá průzkumem trhu a z něho vyvozených posouzení výhodnosti jednotlivých technologií. Doprovodné kapitoly se poté věnují historii autonomního stylu života, či klasifikaci budov dle jejich energetické náročnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA: autonomní dům; úspora elektrické energie; úsporné spotřebiče; ostrovní systém; fotovoltaický panel; akumulátor; MPPT regulátor; měnič napětí; elektrocentrála; větrná turbína; čistá současná hodnota; index rentability; vnitřní výnosové procento

ABSTRACT

This thesis deals with energy self-sufficiency focusing on the independence of the electric grid. Basic line emanating project form a concrete proposal for autonomous energy supply system. Emphasis is placed primarily on photovoltaic systems, electric energy accumulation and selection of individual components of such a system. Another important part of the thesis is also an economic evaluation of design variations. The thesis also deals with a market research, and thereof derived benefit assessment of each technology. The accompanying chapters are then devoted to the history of autonomous life style or classification of buildings according to their energy performance.

KEY WORDS:

autonomous house; electricity savings; efficient appliances; off-grid system; photovoltaic panel; accumulator; MPPT regulator; inverter; electric generator; wind turbine; net present value; profitability index; internal rate of return

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	9
SEZNAM TABULEK	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	12
1 ÚVOD.....	14
2 AUTONOMNÍ DŮM.....	15
2.1 HISTORICKÝ VÝVOJ	16
2.2 KLASIFIKACE BUDOV DLE STATUTÁRNÍCH ORGÁNŮ EVROPSKÉ UNIE.....	18
3 OBJEKT A ENERGETICKÝ POTENCIÁL LOKALITY.....	20
3.1 ENERGETICKÝ POTENCIÁL SLUNEČNÍ ENERGIE V DANÉ LOKALITĚ.....	20
3.2 ENERGETICKÝ POTENCIÁL VĚTRNÉ ENERGIE V DANÉ LOKALITĚ	25
4 ENERGETICKÁ NÁROČNOST OBJEKTU	28
4.1 MĚŘENÍ SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE.....	28
4.2 MOŽNOSTI ÚSPOR ELEKTRICKÉ ENERGIE.....	31
4.2.1 OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVA.....	31
4.2.2 OSTATNÍ SPOTŘEBIČE	35
4.2.3 SPOTŘEBA V POHOTOVOSTNÍM REŽIMU.....	37
4.3 VYHODNOCENÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI OBJEKTU.....	38
4.3.1 PRVNÍ NÁVRHOVÁ VARIANTA.....	38
4.3.2 DRUHÁ NÁVRHOVÁ VARIANTA.....	38
4.3.3 TŘETÍ NÁVRHOVÁ VARIANTA	39
5 DIMENZOVÁNÍ HYBRIDNÍHO OSTROVNÍHO SYSTÉMU.....	41
5.1 FUNKČNÍ SCHÉMATA ZAPOJENÍ	41
5.2 VÝBĚR FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ.....	43
5.2.1 ELEKTRICKÉ PARAMETRY ČLÁNKŮ	43
5.2.2 VLIV TEPLoty NA PARAMETRY MODULU	44
5.2.3 VLIV INTENZITY SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ NA VÝKON MODULU	45
5.2.4 TESTOVACÍ PODMÍNKY	45
5.2.5 SROVNÁNÍ VYBRANÝCH TYPŮ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ.....	46
5.3 DIMENZOVÁNÍ FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU	47
5.4 MPPT REGULÁTOR.....	49
5.4.1 PRVNÍ NÁVRHOVÁ VARIANTA.....	50
5.4.2 DRUHÁ NÁVRHOVÁ VARIANTA.....	51
5.4.3 TŘETÍ NÁVRHOVÁ VARIANTA	51
5.5 VÝBĚR DOPLŇKOVÉHO ZDROJE ELEKTRICKÉ ENERGIE	52
5.5.1 VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA	52
5.5.2 ELEKTROCENTRÁLA	56
5.6 MĚNIČ NAPĚTÍ.....	59
5.7 VÝBĚR AKUMULÁTORŮ	62

5.7.1 OLOVĚNÉ AKUMULÁTORY	62
5.7.2 LITHIOVÉ AKUMULÁTORY	63
5.7.3 KAPACITA A JEJÍ SOUVISLOST S ŽIVOTNOSTÍ AKUMULÁTORŮ.....	63
5.7.4 VYBRANÍ ZÁSTUPCI AKUMULÁTORŮ	64
5.7.5 ZÁVĚREČNÉ SROVNÁNÍ AKUMULÁTORŮ	67
5.7.6 DIMENZOVÁNÍ AKUMULÁTORŮ	68
5.8 ROZPOČET OSTROVNÍHO SYSTÉMU	70
5.8.1 PRVNÍ NÁVRHOVÁ VARIANTA.....	70
5.8.2 DRUHÁ NÁVRHOVÁ VARIANTA.....	70
5.8.3 TŘETÍ NÁVRHOVÁ VARIANTA	71
6 HODNOCENÍ EFEKTIVNOSTI INVESTICE	72
6.1 ČISTÁ SOUČASNÁ HODNOTA	73
6.2 INDEX RENTABILITY	73
6.3 VNITŘNÍ VÝNOSOVÉ PROCENTO.....	74
6.4 STANOVENÍ PŘÍJMŮ A PROVOZNÍCH NÁKLADŮ.....	74
6.4.1 STANOVENÍ VÝŠE BUDOUCÍCH PŘÍJMŮ	74
6.4.2 STANOVENÍ BUDOUCÍCH PROVOZNÍCH NÁKLADŮ	75
6.5 VYHODNOCENÍ EFEKTIVNOSTI INVESTIČNÍCH VARIANT	77
6.5.1 PRVNÍ NÁVRHOVÁ VARIANTA.....	77
6.5.2 DRUHÁ NÁVRHOVÁ VARIANTA.....	78
6.5.3 TŘETÍ NÁVRHOVÁ VARIANTA	79
7 ZÁVĚR.....	80
POUŽITÁ LITERATURA	82

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 2-1 – Ilustrace na téma znečišťování životního prostředí [1].....</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 2-2 - Ark Bioshelter (vlevo) a příklad realizace "Zemělodě" (vpravo) [3],[4]</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 2-3 - Ústředí banky ING v Amsterdamu [5]</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 2-4 - Dům budoucnosti Fronius [6].....</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 3-1 - Přesná lokace navrhovaného objektu [9]</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 3-2 - Roční úhrn globálního slunečního záření na území ČR v kWh/m² [11]</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 3-3 - Denní ozáření v závislosti na úhlu naklonění plochy [12].....</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 3-4 - Průměrná denní produkce elektrické energie v jednotlivých měsících [12].....</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 3-5 - Průměrná rychlost větru ve výšce 10 m nad povrchem na území ČR [13]</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 4-1 - Situační mapa řešeného objektu [14]</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 4-2 - Měřič spotřeby elektrické energie FK 6211 [15].....</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 4-3 - Rozprostření týdenní spotřeby elektrické energie na jednotlivé spotřebiče.....</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 5-1 - Schéma systému s přímým napájením [28]</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 5-2 - Schéma systému s akumulací elektrické energie (DC napětí) [28].....</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 5-3 - Schéma systému s akumulací elektrické energie (DC/AC) [28]</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 5-4 - Schéma hybridního systému s akumulací elektrické energie [28]</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 5-5 - I-U charakteristika fotovoltaického článku.....</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 5-6 - Vliv teploty na I-U charakteristiku solárního článku [29].....</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 5-7 - I-U charakteristika polykrystalického modulu Suntech STP250S-20/Wd [31].....</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 5-8 - Celkově chybějící elektrická energie v jednotlivých měsících</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek 5-9 - Solární regulátor MorningStar Tristar MPPT-45 [36]</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek 5-10 - Aeolos-H 1kW [39]</i>	<i>52</i>
<i>Obrázek 5-11 - Výkonnostní křivky větrných mikroturbín [38],[39]</i>	<i>53</i>
<i>Obrázek 5-12 - Energetická bilance spojení FVE s VTE pro první návrhovou variantu</i>	<i>54</i>
<i>Obrázek 5-13 - Energetická bilance spojení FVE s VTE pro druhou návrhovou variantu</i>	<i>55</i>
<i>Obrázek 5-14 - Energetická bilance spojení FVE s VTE pro třetí návrhovou variantu</i>	<i>55</i>
<i>Obrázek 5-15 - Elektrocentrála Heron [40]</i>	<i>56</i>
<i>Obrázek 5-16 - Životnost akumulátoru Hoppecke 12V 3 OPzS bloc solar.power 200 [47]</i>	<i>64</i>
<i>Obrázek 5-17- Životnost akumulátoru Hoppecke 12V 3 OPzV bloc solar.power 180 [48]</i>	<i>65</i>
<i>Obrázek 6-1 - Vývoj ceny elektrické energie pro domácnosti [54].....</i>	<i>75</i>
<i>Obrázek 6-2 - Vývoj ceny zemního plynu pro domácnosti [55]</i>	<i>76</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 2-1 - Rozčlenění nové generace budov [7].....</i>	<i>18</i>
<i>Tabulka 3-1 - Ozáření v dané lokalitě, azimut 0° [12]</i>	<i>22</i>
<i>Tabulka 3-2 - Průměrná denní produkce elektřiny FVE [12].....</i>	<i>23</i>
<i>Tabulka 3-3 - Výpočet potřebného výkonu FVE (celoroční provoz).....</i>	<i>24</i>
<i>Tabulka 3-4 - Výpočet potřebného výkonu FVE (březen-říjen)</i>	<i>24</i>
<i>Tabulka 3-5 - Rychlost větru a stav počasí v lokalitě Ochoz – leden, únor 2012</i>	<i>26</i>
<i>Tabulka 3-6 - Rychlost větru a stav počasí v lokalitě Ochoz – listopad, prosinec 2012.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabulka 4-1 - Týdenní spotřeba elektrické energie.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabulka 4-2 - Technické parametry měřiče FK 6211</i>	<i>29</i>
<i>Tabulka 4-3 - Týdenní spotřeba jednotlivých spotřebičů.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabulka 4-4 - Seznam světelných zdrojů</i>	<i>31</i>
<i>Tabulka 4-5 - Světelný výkon ekvivalentní ke klasické žárovce o daném příkonu [17]</i>	<i>32</i>
<i>Tabulka 4-6 - Optimalizovaná světelná soustava.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabulka 4-7 - Přehled vybraných světelných zdrojů [18],[19],[20],[21],[22],[23]</i>	<i>34</i>
<i>Tabulka 4-8 - Optimalizovaná světelná soustava (LED)</i>	<i>34</i>
<i>Tabulka 4-9 - Přehled vybraných elektroluminiscenčních zdrojů světla [18],[24],[25],[26].....</i>	<i>35</i>
<i>Tabulka 4-10 - Porovnání kombinovaných chladniček.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabulka 4-11 - Porovnání televizorů.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabulka 4-12 - Porovnání praček</i>	<i>36</i>
<i>Tabulka 4-13 - Vyhodnocení spotřeby pokojových antén</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka 4-14 - Vyhodnocení spotřeby elektrické a mikrovlnné trouby v pohotovostním režimu ..</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka 4-15 - Skladba spotřebičů v první návrhové variantě</i>	<i>38</i>
<i>Tabulka 4-16 - Skladba spotřebičů ve druhé návrhové variantě</i>	<i>39</i>
<i>Tabulka 4-17 - Skladba spotřebičů ve třetí návrhové variantě</i>	<i>40</i>
<i>Tabulka 4-18 - Ceny úsporných spotřebičů a světelných zdrojů.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabulka 5-1 - Srovnání parametrů vybraných solárních modulů [30],[31],[32],[33],[34].....</i>	<i>46</i>
<i>Tabulka 5-2 - Vypočet výkonu FVE pro jednotlivé varianty</i>	<i>47</i>
<i>Tabulka 5-3 - Počet fotovoltaických panelů a jejich cena</i>	<i>47</i>
<i>Tabulka 5-4 - Parametry vybraných fotovoltaických panelů [30],[35].....</i>	<i>48</i>
<i>Tabulka 5-5 - Energetická bilance FVE (leden)</i>	<i>48</i>
<i>Tabulka 5-6 - Výpočet U_{0C-max}, I_{SC-max}.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka 5-7 - Technické parametry regulátoru MorningStar Tristar MPPT-60 [37].....</i>	<i>50</i>

<i>Tabulka 5-8 - Výpočet U_{0C-max}, I_{SC-max}.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabulka 5-9 - Technické parametry regulátoru MorningStar Tristar MPPT-45 [37].....</i>	<i>51</i>
<i>Tabulka 5-10 - Srovnání parametrů větrných mikroturbín [38],[39].....</i>	<i>52</i>
<i>Tabulka 5-11 - Výkonnostní parametry větrných mikroturbín [38],[39].....</i>	<i>52</i>
<i>Tabulka 5-12 - Predikce výkonu větrných mikroelektráren.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabulka 5-13 - Energetická bilance objektu při použití větrné mikroelektrárny.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabulka 5-14 - Chybějící elektrická energie v zimní období.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabulka 5-15 - Technické údaje elektrocentrály Heron EGM 48E LPG-NG-1F [41].....</i>	<i>57</i>
<i>Tabulka 5-16 - Cena zemního plynu v kombinaci FVE + elektrocentrála [41],[42].....</i>	<i>57</i>
<i>Tabulka 5-17 - Technické údaje elektrocentrály Heron EGM 20 LPG [43].....</i>	<i>58</i>
<i>Tabulka 5-18 - Cena LPG v kombinaci FVE + elektrocentrála.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabulka 5-19 - Příkon spotřebičů v první návrhové variantě.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabulka 5-20 - Parametry hybridního měniče napětí Victron MultiPlus 48/5000/70 [44].....</i>	<i>60</i>
<i>Tabulka 5-21 - Příkon spotřebičů ve třetí návrhové variantě.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabulka 5-22 - Parametry hybridního měniče napětí Victron MultiPlus 48/3000/35 [44].....</i>	<i>61</i>
<i>Tabulka 5-23 - Parametry akumulátoru Hoppecke 12V 3 OPzS bloc solar.power 200 [47].....</i>	<i>64</i>
<i>Tabulka 5-24 - Parametry akumulátoru Hoppecke 12V 3 OPzV bloc solar.power 180 [48].....</i>	<i>65</i>
<i>Tabulka 5-25 - Parametry akumulátoru FG Forte FG12-150D 12V [49].....</i>	<i>66</i>
<i>Tabulka 5-26 - Parametry akumulátoru Winston WB-LYP160AHA [50].....</i>	<i>66</i>
<i>Tabulka 5-27 - Shrnující údaje o akumulátorech [47],[48],[49],[50].....</i>	<i>67</i>
<i>Tabulka 5-28 - Výpočet kapacity akumulátorů.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabulka 5-29 - Návrhová kapacita akumulátorů.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabulka 5-30 - Technické parametry článků $LiFePO_4$ [50],[51],[52].....</i>	<i>69</i>
<i>Tabulka 5-31 - Rozpočet první návrhové varianty.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabulka 5-32 - Rozpočet druhé návrhové varianty.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabulka 5-33 - Rozpočet třetí návrhové varianty.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabulka 6-1 - Parametry pro výpočet efektivnosti investice – první varianta.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabulka 6-2 - Výpočet efektivnosti investice – první varianta.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabulka 6-3 - Parametry pro výpočet efektivnosti investice – druhá varianta.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabulka 6-4 - Výpočet efektivnosti investice – druhá varianta.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabulka 6-5 - Parametry pro výpočet efektivnosti investice – třetí varianta.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabulka 6-6 - Výpočet efektivnosti investice – třetí varianta.....</i>	<i>79</i>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Význam	Značka
AC	alternating current - střídavý proud	A
AGM	akumulátory s elektrolytem nasáklým v elektrodách a separátorech ze skleněných mikrovláken	-
AM	air mass - vzduchová hmota	-
AV ČR	Akademie věd České republiky	-
C_{10}	kapacita akumulátoru, při níž poskytne vybíjecí proud rovnající se 1/10 kapacity po dobu 10 hodin	Ah
C_{100}	kapacita akumulátoru, při níž poskytne vybíjecí proud rovnající se 1/100 kapacity po dobu 100 hodin	Ah
C_{20}	kapacita akumulátoru, při níž poskytne vybíjecí proud rovnající se 1/20 kapacity po dobu 20 hodin	Ah
C_{24}	kapacita akumulátoru, při níž poskytne vybíjecí proud rovnající se 1/24 kapacity po dobu 24 hodin	Ah
C_5	kapacita akumulátoru, při níž poskytne vybíjecí proud rovnající se 1/5 kapacity po dobu 5 hodin	Ah
DC	direct current - stejnosměrný proud	A
DOD	depth of discharge - hloubka vybití	%
DPH	daň z přidané hodnoty	%
E_d	průměrná denní produkce elektrické energie	kWh
EPBD	energy performance of buildings directive směrnice o energetické náročnosti budov	-
EUR	měnový kód pro jednotku euro	-
FVE	fotovoltaická elektrárna	-
H_2SO_4	kyselina sírová	-
H_{60°	ozáření plochy o sklonu 60°	Wh/m ² /den
H_h	ozáření horizontální plochy	Wh/m ² /den
H_{opt}	ozáření optimálně nakloněné plochy z hlediska celoročního provozu (34°)	Wh/m ² /den
HP	horsepower - koňská síla	-
I	elektrický proud	A
i	požadovaná výnosnost investice	%/rok
I_{MPP}	elektrický proud v bodě MPP	A
I_{opt}	optimální sklon v jednotlivých měsících	°
IRR	internal rate of return - vnitřní výnosové procento	%/rok
I_{SC}	elektrický proud nakrátko fotovoltaického článku	A
I_{SC-max}	maximální hodnota proudu nakrátko paralelně spojených fotovoltaických panelů	A
I_V	vybíjecí proud akumulátoru	A
K_i	pořizovací náklady	Kč
LED	light-emitting diode - světlo emitující dioda	-

LiFePO ₄	lithium-železo-fosfátové akumulátory	-
LiFeYPO ₄	lithium-yttrium-železo-fosfátové akumulátory	-
LPG	liquefied petroleum gas - zkapalněný ropný plyn	-
MPP	maximum power point - bod maximálního výkonu	-
MPPT	maximum power point tracking sledování bodu maximálního výkonu	-
n	počet vybíjecích/nabíjecích cyklů akumulátoru	-
NG	natural gas - zemní plyn	-
NOCT	normal operating cell temperature - běžná pracovní teplota fotovoltaického článku	-
n _p	počet paralelně spojených fotovoltaických panelů	-
NPV	net present value - čistá současná hodnota	Kč
n _s	počet sériově spojených fotovoltaických panelů	-
OPzS	akumulátory se zaplavenými trubkovými elektrodami	-
OPzV	akumulátory řízené ventilem s trubkovými elektrodami	-
PbSO ₄	síran olovnatý	-
PI	profitability index - index rentability	-
P _j	peněžní příjem z investice v j-tém roce	Kč/rok
P _{MPP}	elektrický výkon v bodě MPP	W
R _a	index barevného podání	-
R _s	sériový odpor fotovoltaického článku	Ω
S	plocha fotovoltaického modulu	m ²
STC	standard testing conditions - standardní testovací podmínky	-
t	teplota	°C
t _{min}	stanovená minimální teplota pro výpočet U _{0C-max}	°C
U	elektrické napětí	V
U _{0C}	elektrické napětí naprázdno fotovoltaického článku	V
U _{0C-max}	maximální hodnota napětí naprázdno sériově spojených fotovoltaických panelů	V
U _{MPP}	elektrické napětí v bodě MPP	V
U _n	jmenovité napětí akumulátoru	V
UPS	uninterruptible power supply - záložní zdroj energie	-
VRLA	valve regulated lead acid - ventilem řízené akumulátory	-
VT	vysoký tarif	-
VTE	větrná elektrárna	-
α _{Isc}	teplotní korekční koeficient proudu I _{sc}	%/°C
β _{Uoc}	teplotní korekční koeficient napětí U _{0C}	%/°C
γ _{Pmpp}	teplotní korekční koeficient výkonu P _{MPP}	%/°C
η	účinnost fotovoltaického článku	-
φ	energie slunečního záření	W

1 ÚVOD

Současný systém centrálního zásobování energiemi sebou přináší řadu úskalí. Kromě znečišťování přírody se jedná hlavně o naši bezprecedentní závislost na tomto systému. Lidská mysl však již odpradáвна touží po nezávislosti a svobodě. Současný vývoj na poli technologií těmto ideám dává reálné obrysy, alespoň co se týče otázky energetické soběstačnosti. Prozatímni překážkou však stále zůstává vyšší pořizovací cena všech komponent, jež ale neustále klesá.

Impulzem k rozvoji energeticky soběstačného bydlení se před více jak půl stoletím stal jiný sen obyvatel planety Země, a to kosmický výzkum, který se značnou měrou zasloužil o rozvoj fotovoltaických technologií. Jak bude ukázáno v následujících kapitolách, solární energie byla a stále je základním kamenem tohoto oboru stavebnictví, k čemuž ji předurčila její dostupnost a bezplatnost.

Pod pojmem soběstačný život si však každý z nás představí něco jiného. Od nezávislosti na elektrické rozvodné síti až po samovýrobu potravin. Konceptů je mnoho a vždy záleží jen na člověku samotném, kterou cestou se vydá on sám.

Nosnou linii a zároveň hlavní cíl této práce tak tvoří návrh autonomního systému zásobování elektrickou energií, možnosti úspor jak energetických, tak i finančních a ekonomické zhodnocení několika variant zamýšleného systému.

K tomuto účelu byl vybrán konkrétní objekt, jehož majitel zvažuje vstoupit do vod soběstačného stylu života a podniká v této oblasti první kroky. K zajištění autonomie objektu byla vzhledem k jeho umístění zvolena fotovoltaická technologie, již bude v nepříznivých zimních časech podporovat doplňkový zdroj elektrické energie.

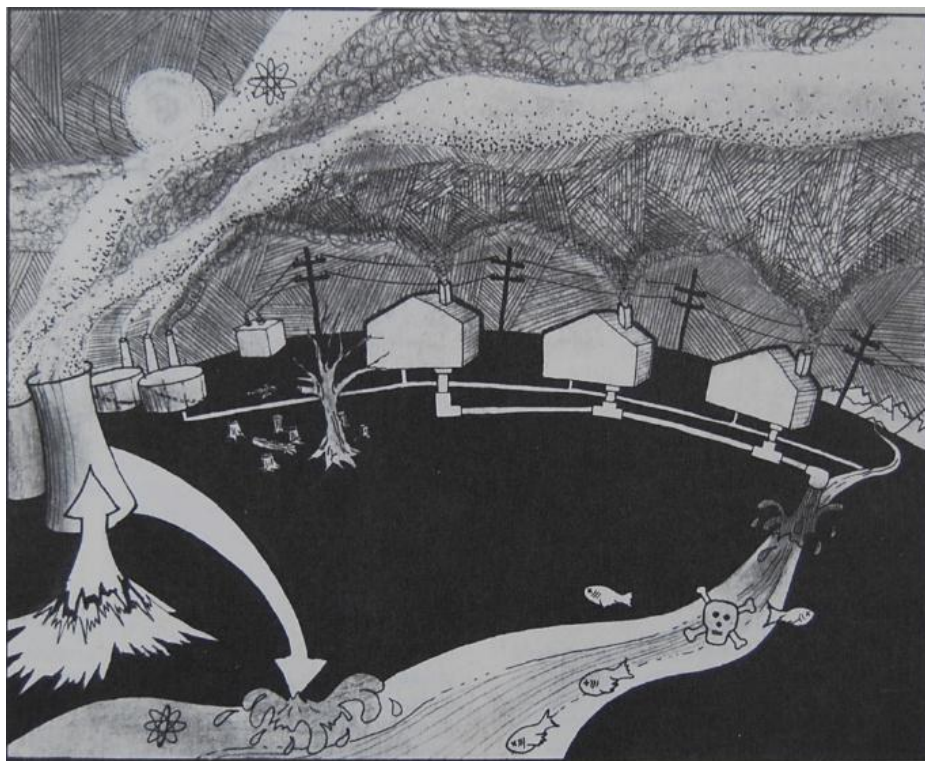
V návaznosti na samotný návrh autonomního systému se prací prolínají témata zaobírající se historií autonomních staveb, jejich budoucností a právní klasifikací na celoevropské úrovni.

2 AUTONOMNÍ DŮM

Pod pojmem autonomní dům si lze představit obydlí, jež není závislé na běžné infrastruktuře. Z pohledu moderní civilizace se především jedná o nezávislost na elektrické rozvodné síti, plynovodu, obecním vodovodu, systému odpadních vod, kanalizaci a v krajních případech i na komunikačních prostředcích a veřejných komunikacích. Dům by tedy měl být soběstačný jak po stránce zásobení elektrickou energií, teplem, či chladem, tak i po stránce nakládání s odpady. Některé koncepce však počítají i s vlastní výrobou potravin.

Hlavní myšlenkou života bez závislosti na centrálním zásobování energií je transformace současného konceptu bydlení, který ustrnul již před mnoha staletími. V počátcích věků hledali lidé pouze úkryt před nepřízní počasí a nebezpečím otevřeného světa. Brzy na to pochopili, že se neobejdou bez světla, ohně, či vody. Nejdříve tak nosili vše potřebné svými rukama, nýbrž s tím jak ubíhala staletí, nahradili tuto namáhavou práci rozsáhlými elektrickými sítěmi, teplovody, či plynovody rozprostírajícími se po všech kontinentech. Vidíme tedy, že samotný systém zásobování energií prošel zásadním vývojem, ale obydlí zůstává stále jen obydlím. Stále závislé a zranitelné. Lze si totiž jednoduše představit, k čemu dojde při živelných pohromách, které naruší stávající centrální systém.

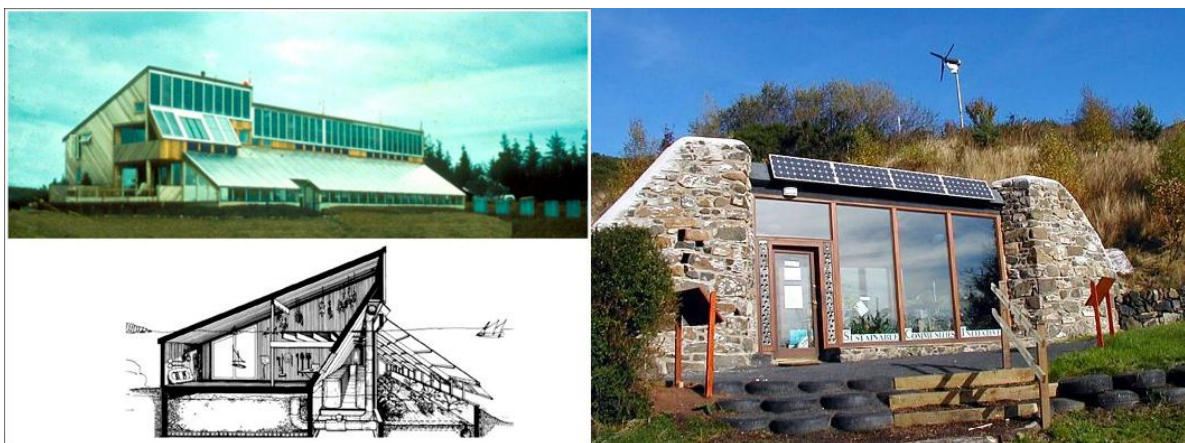
Bez elektřiny se již většina z nás nedokáže ani obejít. Je na ní závislé osvětlení našich domovů, veškeré spotřebiče, rozvod vody, v některých případech i vytápění, či klimatizace. Ve větším měřítku pak například pro člověka nezbytná výroba potravin. Vidíme tedy, že se jedná o začarovaný kruh a není divu, že stále více lidí hledá přijatelné východisko, které bude brát především ohled na životní prostředí a jeho trvalou udržitelnost.



Obrázek 2-1 – Ilustrace na téma znečišťování životního prostředí [1]

2.1 Historický vývoj

Zprávy, hrozící vyčerpáním přírodních zdrojů a hladomory, přiměly v 70. letech minulého století skupinu aktivistů a inženýrů, pod názvem The New Alchemists, k činnosti na poli nezávislého bydlení. Vyznačovali se používáním konvenčních stavebních postupů, přičemž jejich nejznámější stavbou se stala Ark Bioshelter, ležící na ostrově prince Edwarda ve stejnojmenné kanadské provincii. Dům byl zásoben elektřinou díky energii větru, která sloužila i k čerpání vody. Samostatný byl i po stránce výroby potravin. [2]



Obrázek 2-2 - Ark Bioshelter (vlevo) a příklad realizace "Zeměloď" (vpravo) [3],[4]

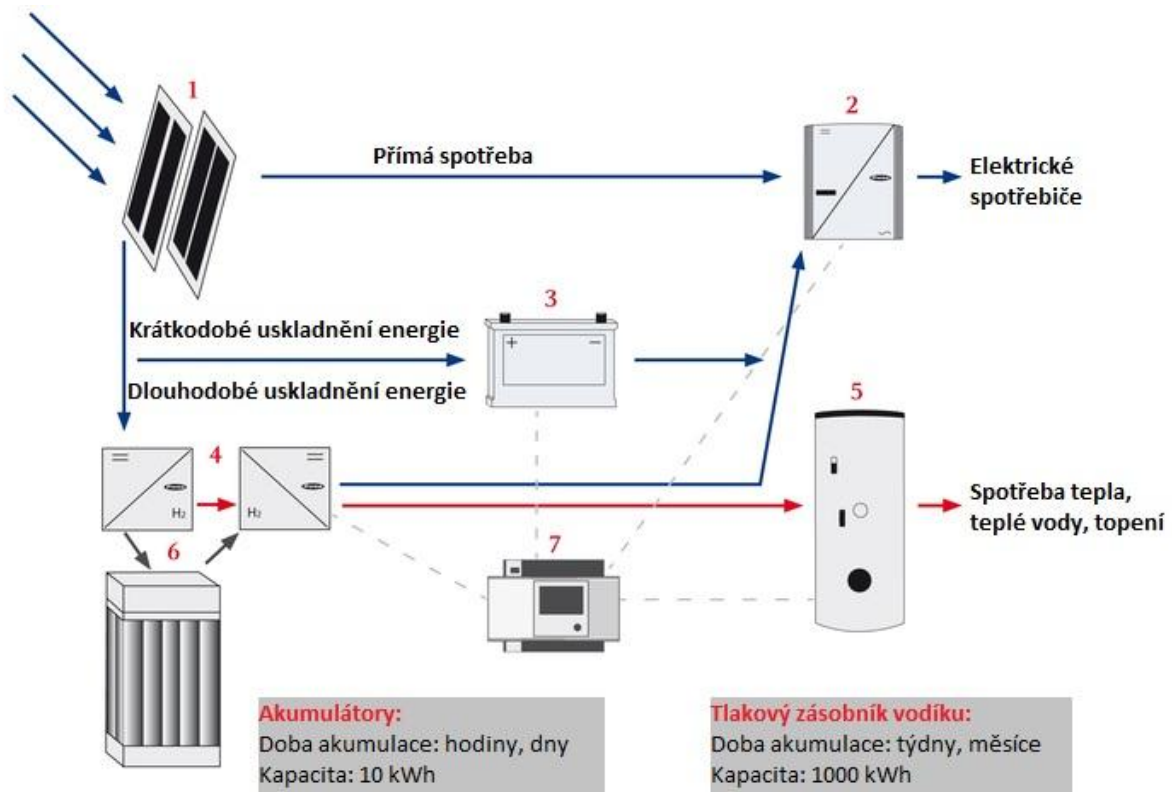
V téže době se začíná věnovat alternativním stavbám i další významná osobnost, a to Mike Reynolds, známý též jako architekt odpadu. Odlišuje se především tím, že jeho stavby zvané Earthships, česky „Zeměloď“, jsou budovány za pomoci odpadních materiálů, jako jsou pneumatiky, prázdné láhve, či plechovky. Opět se jedná o soběstačné stavby, v nichž je elektřina generována pomocí fotovoltaických panelů a větrných turbín. Zajímavostí jistě je, že v květnu roku 2012 byl postaven za pouhých 21 dnů jeden exemplář i v České republice poblíž města Sázavy.

V devadesátých letech rovněž dochází k aplikaci zodpovědného stavitelství na velké komerční objekty, jako je například ústředí banky ING v Amsterdamu, za kterým stojí architekti Wiliam McDonough a Ken Yeang. [2]



Obrázek 2-3 - Ústředí banky ING v Amsterdamu [5]

Konceptem budoucnosti by se mohl stát pilotní projekt společnosti Fronius, která se na veletrhu Intersolar 2012 pochlubila návrhem zcela autonomního domu. Za výrobou elektřiny stojí fotovoltaické panely, jež přes den ukládají elektřinu do akumulátorů a případné přebytky energie slouží ke generaci vodíku elektrolyzérem a jeho ukládání do externích nádrží. Takto naskladněná energie ve vodíku se poté dá využít jako záložní zdroj v dlouhých zimních měsících, kdy je intenzita slunečního záření na nízké úrovni. Odpadní teplo, které se při těchto transformačních procesech uvolňuje, je pak využito k ohřevu teplé vody a vytápění. [6]



Legenda:

- 1 Fotovoltaický generátor 2 střídač 3 akumulátory 4 Energetický článek Fronius 5 Akumulační zásobník tepla
6 Tlakový zásobník vodíku 7 Řídící jednotka

Obrázek 2-4 - Dům budoucnosti Fronius [6]

Z jednotlivých koncepcí je zřetelně vidět, že plné autonomie nedosahuje ani jedna z nich. Vždy se jedná pouze o částečnou soběstačnost, která ve většině případů spočívá v nezávislosti na elektrické rozvodné síti a centrálním systému vytápění. Vždy tak samozřejmě závisí na tom kterém jednotlivci, jaký stupeň nezávislosti si zvolí on sám.

2.2 Klasifikace budov dle statutárních orgánů Evropské unie

Snižováním energetické náročnosti budov se po delší dobu zabývá rovněž Evropský parlament. Původní směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/91/ES o energetické náročnosti budov (EPBD) se v květnu roku 2010 dočkala nového znění, jehož hlavním bodem je sdělení, že do 31. prosince 2020 by měly být všechny nové budovy stavěny jako energeticky nulové nebo takové úrovni blízké a v případě nových budov užívaných či vlastněných orgány veřejné moci již o dva roky dříve. [7]

Z pohledu české legislativy a norem se jedná o nutnou změnu zákona č. 406/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů o hospodaření s energií a na něj navazující vyhlášky, podle nichž se provádějí hodnocení energetické náročnosti budov a audity budov. [7]

Dle zdroje [7] lze novou generaci energeticky úsporných budov rozdělit tak, jak uvádí Tabulka 2-1. Primární energií se zde myslí energie z obnovitelných a neobnovitelných zdrojů, která neprošla žádným procesem přeměny nebo transformace. [8]

Tabulka 2-1 - Rozčlenění nové generace budov [7]

Typ budovy	Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/m ² ·a]	Měrná spotřeba primární energie [kWh/m ² ·a]	Dodatky
Pasivní budova (referenční hodnoty)	≤ 15 ≤ 20 pro rodinné domy	≤ 60 pro obytné budovy ≤ 120 pro neobytné budovy	
Energeticky nulová budova	požadavek jako pro pasivní budovu, nejvýše o 20 % vyšší, pokud z odborných důvodů nelze dosáhnout lepší hodnoty	≤ 0 pro všechny budovy	
Budova blízká budově energeticky nulové		≤ 30 pro obytné budovy ≤ 90 pro neobytné budovy	
Energeticky pozitivní budova		≤ 0 pro všechny budovy a současně do bilance zahrnutá energetická produkce převyšuje energetickou potřebu alespoň o 10 %	
Úsporná budova v energeticky nulovém (pozitivním) souboru budov		požadavek jako pro pasivní budovu a současně společný bilanční výpočet souboru budov a produkce je nulový (nebo lepší)	
Budova se zvýšenou energetickou nezávislostí		požadavek jako pro pasivní budovu nebo lepší	Dodávaná energie není nulová v každém okamžiku. Budova je za výpočtových provozních podmínek schopna provozu alespoň krátkodobě nezávisle na dodávkách energie z vnějšku. Délka takového časového úseku musí být udána.
Budova energeticky nezávislá		požadavek jako pro pasivní budovu nebo lepší	Dodávaná energie je nulová v každém okamžiku. Budova je za výpočtových provozních podmínek schopna provozu dlouhodobě nezávisle na dodávkách energie z vnějšku.

Z našeho hlediska je nejpodstatnější poslední typ budovy, tedy budova energeticky nezávislá. Z tabulky vidíme, že požadavky na tento typ budovy jsou po stránce potřeby tepla na vytápění a spotřeby primární energie stejné jako na pasivní budovy s tím, že dodávaná energie je nulová v každém okamžiku. Jedná se tedy o autonomní budovu, alespoň co se týče zásobování energií.

3 OBJEKT A ENERGETICKÝ POTENCIÁL LOKALITY

K návrhu autonomního systému byl vybrán objekt, jenž patří do postarší rurální zástavby a postupně dochází k jeho revitalizaci. Cílem majitele objektu je dosažení jistého stupně samostatnosti, kterého chce dosáhnout především pomocí fotovoltaických technologií. Z jeho hlediska jde tedy především o nezávislost na elektrické rozvodné síti.

Objekt se nachází v obci Nasavrky, konkrétně v místní části Ochoz. Obec leží na úpatí Železných hor ve východních Čechách. Obrázek 3-1 zobrazuje přesnou lokaci obce na mapě České republiky. Geografické souřadnice obce:

- Zeměpisná šířka: 49°50'54.03"S
- Zeměpisná délka: 15°48'53.80"V
- Nadmořská výška: 443 m



Obrázek 3-1 - Přesná lokace navrhovaného objektu [9]

Lokalita a umístění objektu umožňuje využití sluneční, popřípadě větrné energie. Z tohoto důvodu probíhá v blízkosti objektu dlouhodobé měření rychlosti větru pomocí domácí meteorostanice s anemometrem. Souběžně s měřením rychlosti větru je zaznamenáván i stav počasí, a to třikrát denně. Díky tomu jsou k dispozici poměrně přesné údaje, které tato práce využívá při hodnocení a odhadu produkce větrné mikroelektrárny.

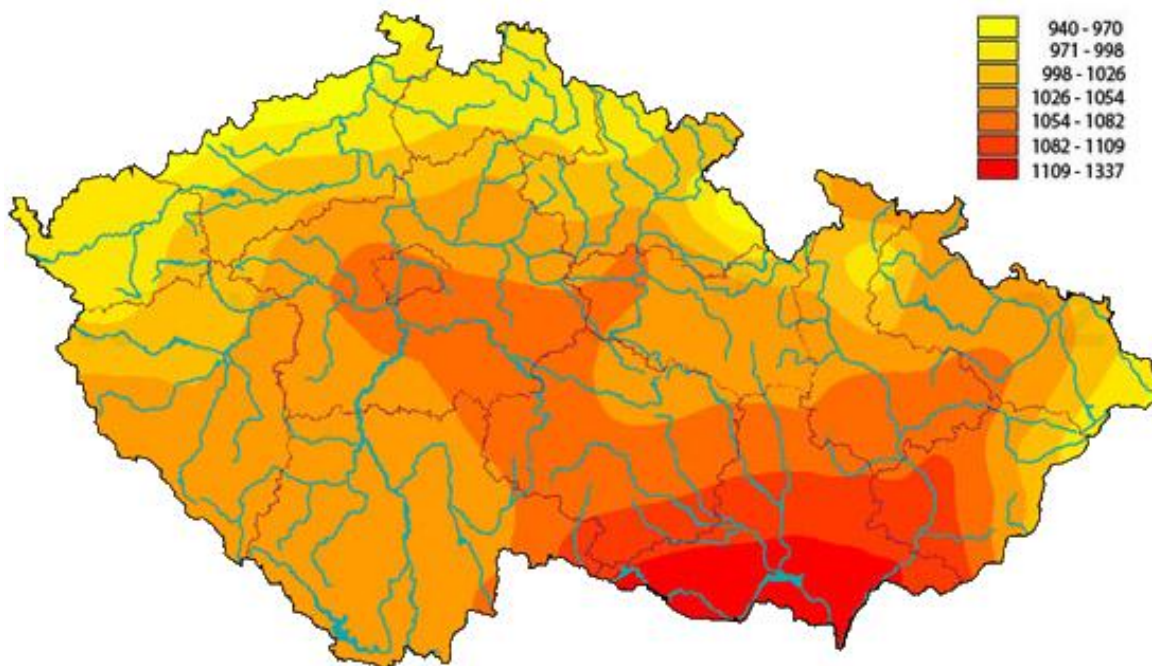
3.1 Energetický potenciál sluneční energie v dané lokalitě

Množství sluneční energie dopadající na metr čtvereční vně atmosféry Země činí 1367 W/m^2 . Při průchodu zemskou atmosférou se však část této energie vlivem odrazu, rozptylu a pohlcení ztratí. Za jasného dne pak lze očekávat špičkovou hodnotu intenzity ozáření povrchu 1000 W/m^2 , a to poměrně nezávisle na umístění. Z toho důvodu slouží tato hodnota jako referenční při určení jmenovitého výkonu solárních modulů.

Ne vždy se však dá počítat s jasnou oblohou a přímým slunečním zářením. Nezanedbatelný vliv má i oblačnost, mlha, opar, ozonová či prachová vrstva, na nichž dochází k filtrování

a odchylování světla, čímž vzniká difuzní složka záření, jež nemá předem určený směr dopadu. Kvůli ní tak dochází k poklesu intenzity záření pod referenční hodnotu. Sečtením obou složek záření a vynásobením celkovým počtem slunečných hodin vyskytujících se během roku se získá roční ozáření Sluncem pro horizontální plochu, jež je značně regionálně závislé.

V naší zemi tak lze očekávat hodnotu energie z jednoho metru čtverečního ozářené plochy mezi 950 až 1340 kWh/m², přičemž okolo 75 % energie připadá na letní polovinu roku, tj. na období od dubna do září. [10]



Obrázek 3-2 - Roční úhrn globálního slunečního záření na území ČR v kWh/m² [11]

Nyní se práce zaměří přímo na danou lokalitu. Jak bylo již dříve napsáno, převážná část energie slunečního záření, dopadajícího na vodorovnou plochu, připadá na letní polovinu roku. Výnosy energie v zimních měsících, konkrétně v listopadu, prosinci a lednu, jsou opravdu malé.

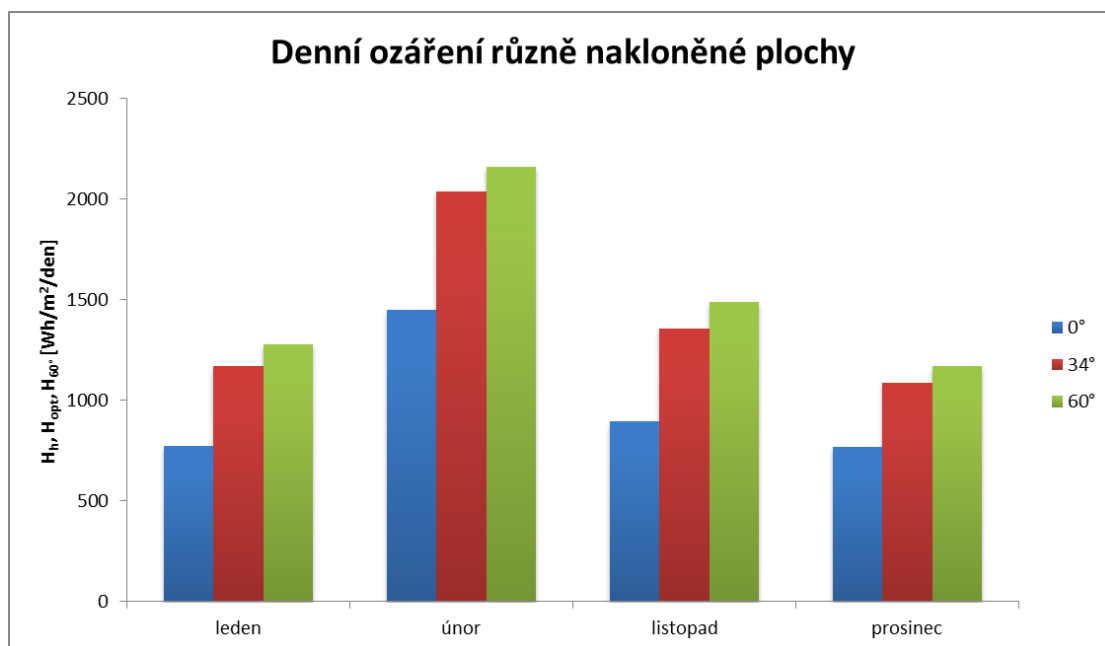
Porovnáním nejsilnějšího měsíce, tedy června, s denním ozářením v horizontální rovině 5520 Wh/m²/den a prosince s hodnotou 767 Wh/m²/den, bylo zjištěno, že v prosinci je ozáření horizontální plochy oproti červnu o 86,1 % menší.

Konkrétní hodnoty ozáření pro různě nakloněné roviny, jež jsou ideálně natočeny k jihu, zobrazuje Tabulka 3-1, kterou je možno spatřit na další stránce.

Tabulka 3-1 - Ozáření v dané lokalitě, azimut 0° [12]

Měsíc	H_h [Wh/m ² /den]	H_{opt} [Wh/m ² /den]	H_{60° [Wh/m ² /den]	I_{opt} [°]
leden	775	1170	1280	62
únor	1450	2040	2160	57
březen	2670	3380	3370	46
duben	4420	5050	4680	34
květen	5070	5180	4460	20
červen	5520	5410	4510	14
červenec	5190	5170	4370	16
srpen	4540	4950	4440	29
září	3140	3830	3710	42
říjen	1810	2530	2650	54
listopad	896	1360	1490	62
prosinec	767	1090	1170	60
průměrné hodnoty	3030	3440	3190	34
H_h : ozáření horizontální plochy				
H_{opt} : ozáření optimálně nakloněné plochy z hlediska celoročního provozu (34°)				
H_{60° : ozáření plochy o sklonu 60°				
I_{opt} : optimální sklon v jednotlivých měsících				

K maximalizaci energetických zisků v zimních měsících je nutné fotovoltaické panely naklonit pod vhodným úhlem, ideálně pod úhlem 60°, kdy se maximalizují zisky v měsíci listopadu, prosinci a lednu. Pouhým odkloněním plochy od horizontální polohy o 60° tak lze například v prosinci získat navíc 52,54 % energie. Při odklonu o 34°, tedy o optimální úhel z hlediska celoročního provozu, získáme navíc 42,11 % energie. Rozdíl mezi optimálním celoročním a měsíčním úhlem tedy již není tak značný a činí 10,43 %.



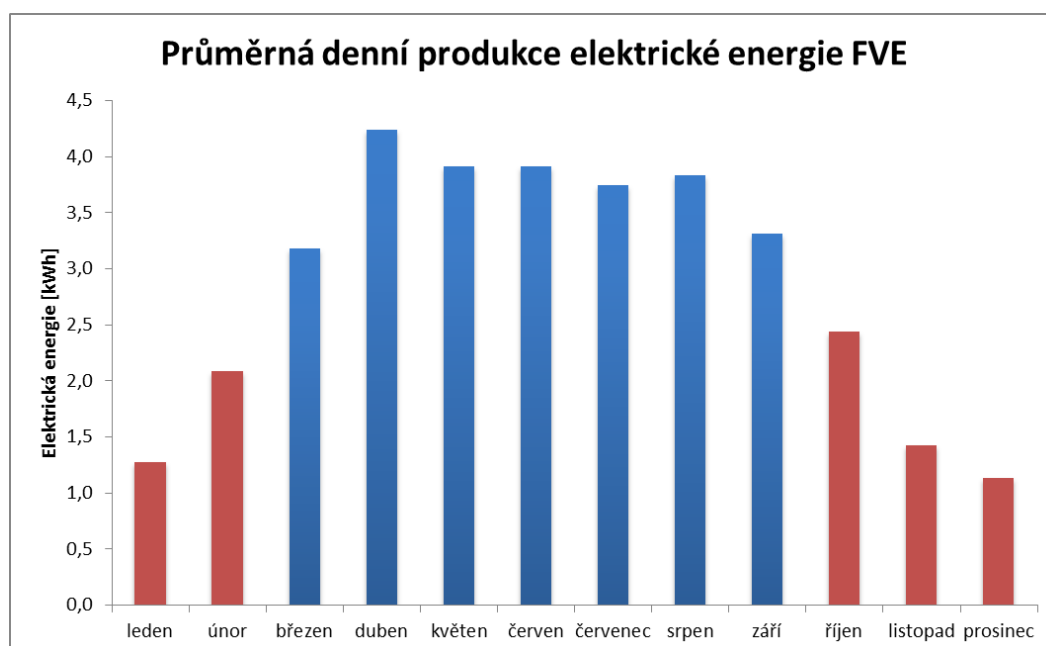
Obrázek 3-3 - Denní ozáření v závislosti na úhlu naklonění plochy [12]

Prozatím se práce zabývala pouze energií dopadajícího slunečního záření. Nyní přejde k praktické ukázce produkce elektřiny v dané lokalitě. Základním kamenem systému budou krystalické fotovoltaické panely o špičkovém výkonu 1 kWp s úhlem náklonu 60° a azimutem 0°. V rámci simulace budou uvažovány pouze ztráty vzniklé vlivem proměnlivosti teploty, odrazu světla od povrchu panelů a ztráty způsobené nízkým ozářením, které v jejich kombinaci činí 9,8 %. Tabulka 3-2 zobrazuje průměrné denní hodnoty elektrické energie, které daný systém poskytne v jednotlivých měsících roku.

Tabulka 3-2 - Průměrná denní produkce elektřiny FVE [12]

Průměrná denní produkce elektrické energie FVE	
Měsíc	E_d [kWh]
leden	1,27
únor	2,08
březen	3,18
duben	4,24
květen	3,91
červen	3,91
červenec	3,74
srpen	3,83
září	3,31
říjen	2,44
listopad	1,42
prosinec	1,13
průměr	2,87

Celoroční denní průměr vyprodukované elektrické energie činí 2,87 kWh. V obrázku níže jsou barevně odlišeny měsíce, které této hodnoty nedosahují. Jedná se o měsíce leden, únor, říjen, listopad a prosinec, jež jsou energeticky podprůměrné.



Obrázek 3-4 - Průměrná denní produkce elektrické energie v jednotlivých měsících [12]

V případě, že by byl k napájení objektu použit čistě fotovoltaický systém, musel by se dimenzovat podle nejslabšího měsíce v roce, jímž je prosinec. Jak by vypadal systém pro napájení ukázkového objektu s průměrnou denní spotřebou 1 kWh, ukazuje Tabulka 3-3. V návrhu jsou již započítány odhadované systémové ztráty, které vznikají na jednotlivých prvcích systému, jako jsou kabely, MPPT regulátor, měnič napětí či akumulátor.

Tabulka 3-3 - Výpočet potřebného výkonu FVE (celoroční provoz)

Výpočet potřebného výkonu FVE (celoroční provoz)		
Denní spotřeba elektrické energie	[Wh]	1000
Ztráty MPPT regulátoru	[%]	5
Ztráty při akumulaci elektrické energie	[%]	10
Ztráty v měniči napětí	[%]	10
Ztráty v kabeláži	[%]	2
Celkové systémové ztráty	[%]	24,6
Výsledná potřeba elektrické energie	[Wh]	1326
Průměrná denní produkce elektrické energie z 1 Wp instalovaného výkonu	[Wh/Wp]	1,13
Potřebný výkon FVE	[Wp]	1174

Jelikož je výkon fotovoltaického systému v zimním období značně rozkolísaný, využívá se v zimě většinou ještě další zdroj elektrické energie a celý systém se dimenzuje podle energetických zisků měsíce října. Díky tomu je pokryta spotřeba v období od března do října a ve zbývajících čtyřech měsících je využit již zmíněný doplňkový zdroj. Jaký výkon by musela mít fotovoltaická elektrárna, aby pokryla průměrnou denní spotřebu ve výši 1 kWh v období březen-říjen, zobrazuje Tabulka 3-4.

Tabulka 3-4 - Výpočet potřebného výkonu FVE (březen-říjen)

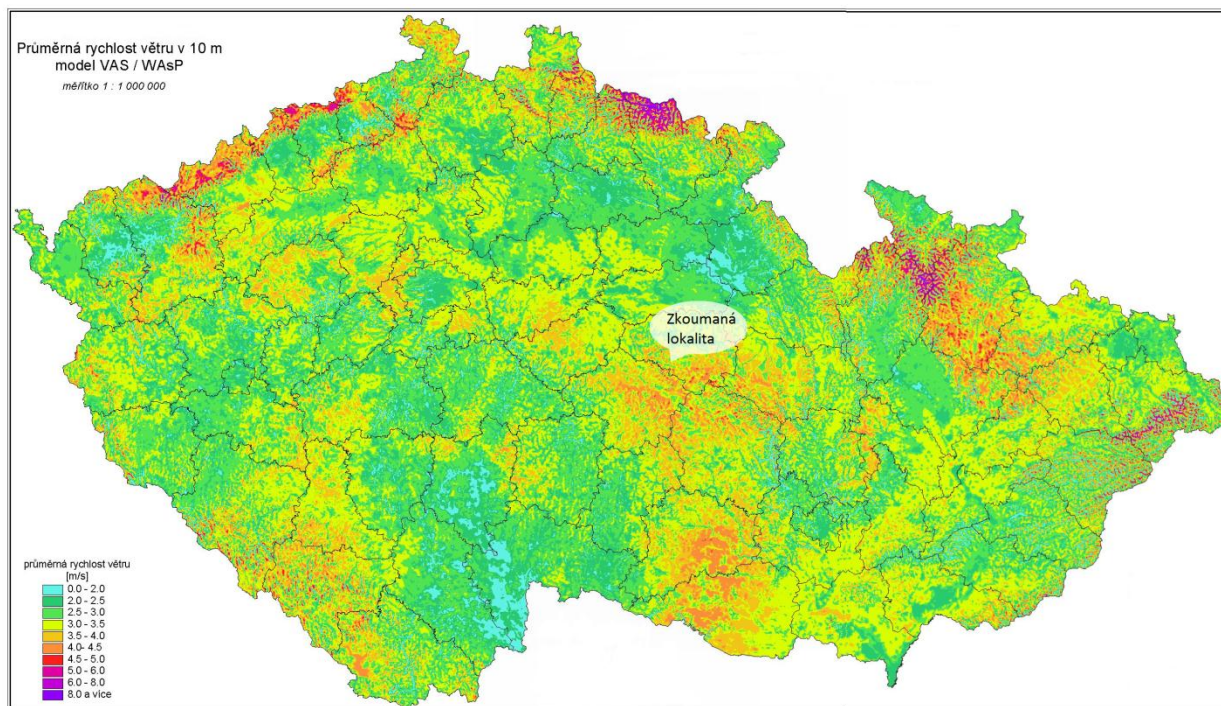
Výpočet potřebného výkonu FVE (březen-říjen)		
Denní spotřeba elektrické energie	[Wh]	1000
Ztráty MPPT regulátoru	[%]	5
Ztráty při akumulaci elektrické energie	[%]	10
Ztráty v měniči napětí	[%]	10
Ztráty v kabeláži	[%]	2
Celkové systémové ztráty	[%]	24,6
Výsledná potřeba elektrické energie	[Wh]	1326
Průměrná denní produkce elektrické energie z 1 Wp instalovaného výkonu	[Wh/Wp]	2,44
Potřebný výkon FVE	[Wp]	543

Porovnáním potřebného instalovaného výkonu fotovoltaické elektrárny určené k celoročnímu napájení objektu a instalovaného výkonu elektrárny určené k pokrytí spotřeby v období od března do října bylo zjištěno, že pro celoroční provoz musí být instalovaný výkon větší 2,162-krát.

3.2 Energetický potenciál větrné energie v dané lokalitě

Dopadající sluneční záření stojí i za vznikem větrů, které jsou důsledkem nerovnoměrného ohřívání zemského povrchu. Následně vzniklé tlakové rozdíly v atmosféře způsobují proudění vzduchu. Potenciálem a možnostmi využití proudění vzduchu se zabývá tato podkapitola.

Energie větru využívali lidé již v dávných dobách, kde sloužila k pohánění lopatek větrných mlýnů či vzdouvání plachet lodí. V dnešní době se však převážně využívá k výrobě elektrické energie, k čemuž jsou určeny větrné turbíny. Pro jejich instalaci jsou však nejpříhodnější přímořské a horské oblasti. Na území České republiky bohužel nepanují tak výhodné podmínky.



Obrázek 3-5 - Průměrná rychlost větru ve výšce 10 m nad povrchem na území ČR [13]

Z větrné mapy, sestavené Ústavem fyziky atmosféry AV ČR, vyplývá, že vhodnými oblastmi k výstavbě větrných elektráren jsou především příhraniční horské oblasti, kde průměrná rychlost větru přesahuje 5 m/s. Zkoumaný objekt se nachází na pomezí Železných hor v Pardubickém kraji, přesněji v okrese Chrudim. V tomto okrese by se průměrná rychlost větru v 10 m nad povrchem měla dle mapy pohybovat od 2 m/s do 5 m/s.

Konkrétní hodnoty rychlosti větru za rok 2012, měřené pomocí domácí meteorostanice s anemometrem Welltech TW69/40616, jež je umístěna ve výšce 6,5 metrů nad terénem, naznačují, že se průměrná rychlost ve zkoumané lokalitě pohybuje na spodní hranici předpokládané hodnoty. Konkrétně její hodnota činí 2,42 m/s, avšak bez započtení nulových hodnot, které jsou dány rozběhovou rychlostí anemometru, se průměrná rychlost větru vyšplhá na 2,66 m/s.

I přesto se však jedná o nízké hodnoty a pořízení větrné elektrárny, jako doplňkového zdroje k fotovoltaickým panelům, se nezdá být výhodné. Jak je tomu s rychlostmi větru v zimních měsících ukazuje Tabulka 3-5 a Tabulka 3-6.

Tabulka 3-5 obsahuje údaje o rychlosti větru, měřené v daných časových intervalech, a stavu počasí pro jednotlivé dny měsíce ledna a února. Z tabulky lze vyčíst, že nejdelší období bez slunečního svitu trvalo celých 8 dní, a to jak v měsíci lednu (8.1.-15.1.2012), tak i v měsíci únoru (13.2.-20.2.2012). Rovněž je patrné, že ve dnech se zataženou oblohou většinou vane příznivý vítr (v tabulce vyznačen zelenou barvou) a naopak ve dnech slunečných panuje převážně bezvětří, či vane slabý vítr.

Tabulka 3-5 - Rychlost větru a stav počasí v lokalitě Ochoz – leden, únor 2012

LEDEN - ÚNOR 2012									
Den	Rychlost větru [m/s]			Stav počasí	Den	Rychlost větru [m/s]			Stav počasí
	7:00	14:00	21:00			7:00	14:00	21:00	
1.1.2012	7,0	7,0	7,0	polojasno	1.2.2012	0,2	3,0	1,0	jasno
2.1.2012	0,2	1,5	3,0	zataženo/oblačno	2.2.2012	0,0	1,0	0,1	jasno
3.1.2012	4,0	5,5	5,5	zataženo	3.2.2012	0,0	0,0	0,0	jasno
4.1.2012	5,0	5,0	5,0	zataženo	4.2.2012	0,0	4,0	0,2	jasno/oblačno
5.1.2012	5,0	5,0	2,0	zataženo/polojasno	5.2.2012	1,0	2,5	0,0	oblačno/zataženo
6.1.2012	2,0	5,0	5,0	zataženo	6.2.2012	0,4	2,0	2,5	polojasno/jasno
7.1.2012	4,5	2,0	2,5	zataženo/polojasno	7.2.2012	2,0	4,0	0,0	zataženo
8.1.2012	1,0	2,0	1,5	zataženo/oblačno	8.2.2012	0,0	0,9	0,4	polojasno/oblačno
9.1.2012	2,0	2,0	1,0	zataženo	9.2.2012	0,9	1,5	2,5	oblačno/zataženo
10.1.2012	3,0	2,5	3,5	zataženo	10.2.2012	0,0	1,0	1,2	jasno
11.1.2012	3,5	4,0	4,0	zataženo	11.2.2012	0,2	0,2	0,2	jasno
12.1.2012	4,0	4,5	5,0	zataženo	12.2.2012	0,2	0,2	0,2	jasno
13.1.2012	4,7	4,5	4,5	zataženo/oblačno	13.2.2012	0,5	0,6	0,0	zataženo
14.1.2012	5,0	5,0	4,5	zataženo/oblačno	14.2.2012	0,0	0,0	1,0	zataženo
15.1.2012	4,0	4,0	3,5	zataženo	15.2.2012	5,0	8,0	8,0	zataženo
16.1.2012	1,0	1,5	2,0	jasno/zataženo	16.2.2012	5,6	4,0	1,5	zataženo
17.1.2012	3,0	3,0	2,0	zataženo	17.2.2012	3,5	4,0	2,0	zataženo/oblačno
18.1.2012	1,7	1,5	1,5	zataženo/jasno	18.2.2012	1,5	1,5	2,0	zataženo
19.1.2012	2,0	4,5	4,5	zataženo	19.2.2012	4,0	4,0	1,0	zataženo
20.1.2012	4,2	3,5	3,5	zataženo	20.2.2012	1,0	2,0	1,0	zataženo
21.1.2012	2,2	6,0	6,0	zataženo	21.2.2012	4,0	1,5	0,4	jasno/oblačno
22.1.2012	3,5	4,2	3,5	zataženo	22.2.2012	0,8	1,5	0,5	zataženo
23.1.2012	1,7	2,0	1,5	zataženo	23.2.2012	5,0	5,0	2,5	zataženo
24.1.2012	0,3	1,0	1,0	zataženo	24.2.2012	5,0	3,5	3,5	zataženo
25.1.2012	0,5	0,5	0,5	polojasno/jasno	25.2.2012	1,8	6,0	5,6	oblačno/polojasno
26.1.2012	0,5	0,3	1,0	jasno	26.2.2012	4,0	4,0	3,0	zataženo
27.1.2012	2,5	1,5	1,0	jasno	27.2.2012	1,0	3,5	3,0	jasno/polojasno
28.1.2012	0,0	0,0	0,0	polojasno/jasno	28.2.2012	2,2	3,5	5,0	zataženo
29.1.2012	0,4	0,5	0,5	polojasno	29.2.2012	5,0	5,0	1,6	zataženo
30.1.2012	1,0	1,5	0,5	jasno					
31.1.2012	1,0	2,5	0,2	jasno					

Z tabulky dále vyplývá, že v lednu a taktéž i v únoru vysvitlo Slunce vcelku ve dvanácti dnech. Vítr s rychlostí 3 m/s a vyšší poté váł v lednu v osmnácti a v únoru v patnácti dnech.

Dalším kritickým obdobím v roce jsou z pohledu nedostatku slunečního svitu měsíce listopad a prosinec. Hodnoty rychlostí větru a stavu počasí v tomto období znázorňuje Tabulka 3-6.

Tabulka 3-6 - Rychlost větru a stav počasí v lokalitě Ochoz – listopad, prosinec 2012

LISTOPAD - PROSINEC 2012									
Den	Rychlost větru [m/s]			Stav počasí	Den	Rychlost větru [m/s]			Stav počasí
	7:00	14:00	21:00			7:00	14:00	21:00	
1.11.2012	10	9	5	zataženo/oblačno	1.12.2012	0	1	0	jasno/polojasno
2.11.2012	2,5	3,5	5	zataženo/polojasno	2.12.2012	3,5	2,5	0	zataženo
3.11.2012	4	4	8	oblačno/jasno	3.12.2012	4	4	1,5	zataženo
4.11.2012	0	2	8	zataženo	4.12.2012	4	4	1	zataženo
5.11.2012	4	4	3	oblačno/polojasno	5.12.2012	2	2	1	oblačno/zataženo
6.11.2012	2,5	5	2	zataženo	6.12.2012	3,5	3,5	4	oblačno/zataženo
7.11.2012	5,5	5,5	4	zataženo	7.12.2012	2	2	0	oblačno/jasno
8.11.2012	2	2	0,5	oblačno	8.12.2012	0,5	1	1	jasno
9.11.2012	2,5	2	1	zataženo/polojasno	9.12.2012	2	2	5	jasno
10.11.2012	12	12	5	oblačno	10.12.2012	4	2,5	1,3	zataženo
11.11.2012	3	3	0,5	oblačno	11.12.2012	1	1,5	3	zataženo
12.11.2012	1	1,5	0	zataženo/oblačno	12.12.2012	2	2	0	zataženo/polojasno
13.11.2012	1,5	2	0	zataženo/jasno	13.12.2012	2	1,5	6	zataženo
14.11.2012	1,5	2,5	0	jasno	14.12.2012	6	5	2	oblačno/zataženo
15.11.2012	1	1	1	jasno/zataženo	15.12.2012	6,5	1	1	zataženo
16.11.2012	3	5	3	zataženo/oblačno	16.12.2012	4	4	3,5	zataženo
17.11.2012	4,5	4,5	2	zataženo	17.12.2012	1,5	3	3	zataženo
18.11.2012	1	2	2	zataženo/polojasno	18.12.2012	3	1,5	1,5	zataženo
19.11.2012	0,3	0	0	zataženo/oblačno	19.12.2012	0,5	0,5	0,5	zataženo
20.11.2012	0	1	0	jasno	20.12.2012	0	0	0	zataženo
21.11.2012	1,5	5	1	oblačno/zataženo	21.12.2012	1	2	0,5	zataženo
22.11.2012	1	1	0,5	zataženo/oblačno	22.12.2012	0,5	1	2,5	zataženo
23.11.2012	0	1	1	zataženo	23.12.2012	9	9	7	zataženo
24.11.2012	1,5	1,5	4	zataženo/polojasno	24.12.2012	0,5	1	5,5	zataženo
25.11.2012	4	4	6	zataženo	25.12.2012	6	6	6	oblačno
26.11.2012	5	2,5	2,5	oblačno	26.12.2012	4	6	5	zataženo
27.11.2012	0,5	0,5	0,5	zataženo	27.12.2012	6	4,5	3,5	zataženo
28.11.2012	1	1	1	zataženo	28.12.2012	4	1,5	0	zataženo/jasno
29.11.2012	7	7	5	zataženo	29.12.2012	5	5	6	jasno
30.11.2012	4	2	0,5	zataženo	30.12.2012	5,5	4	3,5	zataženo
					31.12.2012	3,5	4	6	jasno

Nejdelší období bez slunečního svitu trvalo v měsíci listopadu šest dní (1.11.-13.1.2012) a v prosinci patnáct dní (13.12.-27.12.2012). Z tabulky dále vyplývá, že v listopadu vysvitlo Slunce vcelku v deseti dnech, v prosinci poté v osmi dnech. Vítr s rychlostí 3 m/s a vyšší váln v listopadu v sedmnácti a v prosinci ve dvaadvaceti dnech.

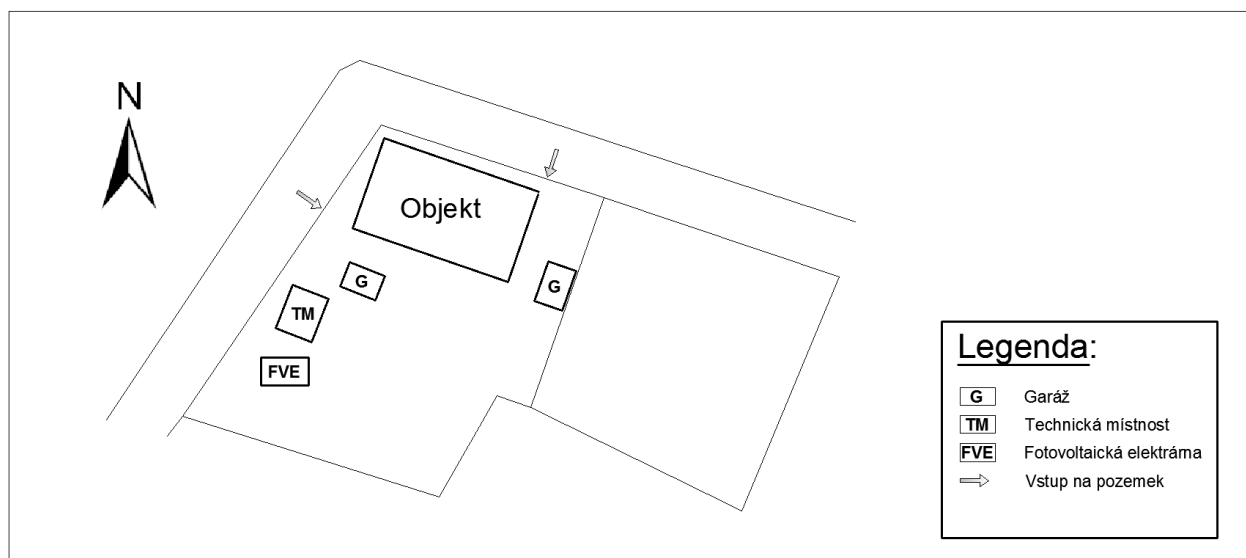
Tabulka 3-5 a Tabulka 3-6 neobsahují údaje o nárazech větru. Ty se ve zmíněných čtyřech zimních měsících vyskytly celkem v sedmnácti dnech, přičemž rychlost větru dosahovala v patnácti dnech maximální hodnoty 20 m/s. Ve zbývajících dvojici dnů, konkrétně 15. února a 10. listopadu, poté rychlost větru dosáhla hodnoty 28,3 m/s, respektive 34,3 m/s.

Dalším důležitým poznatkem, vyplývajícím z měření, je délka intervalu mezi dny, kdy vysvitlo Slunce. Jeho průměrná hodnota činí 3,29 dnů. Díky tomuto poznatku tak lze dimenzovat vhodnou kapacitu akumulátorů, která bude stanovena na pokrytí spotřeby domácnosti po dobu tří dnů.

4 ENERGETICKÁ NÁROČNOST OBJEKTU

Rozlehlá nemovitost sestává z trojice samostatných bytových jednotek o celkové podlahové ploše 328,4 m², přičemž zastavěná plocha s nádvořím mají dohromady 955 m². K nemovitosti dále patří přilehlá parcela o výměře 432 m².

Vzhledem k tomu, že je objekt orientován na jihozápad (azimut 20,5°) a vzhledem ke složitějším vlastnickým poměrům, bylo rozhodnuto o umístění fotovoltaické elektrárny na pozemku za technickou místností, viz. Obrázek 4-1. Díky tomu bude dosaženo ideální orientace fotovoltaických panelů směrem k jihu a rovněž bude možné instalovat panely se sklonem 60°, jenž je potřebný k maximalizaci energetických zisků v zimním období.



Obrázek 4-1 - Situační mapa řešeného objektu [14]

Pro konkrétní návrh byla vybrána mezonetová bytová jednotka 2+1, jejíž celková podlahová plocha s příslušenstvím činí 66,78 m². Zmíněný byt je trvale obydlen dvěma osobami od září roku 2010, přičemž ke stabilizaci spotřeby elektrické energie došlo v zúčtovacím období 2011/2012, v němž spotřeba dosáhla hodnoty 1391 kWh.

Průměrná denní spotřeba elektrické energie tedy v období 2011/2012 činila 3,832 kWh. Jedná se však o průměrnou celoroční hodnotu. Z projektového hlediska je však mnohem důležitější spotřeba elektrické energie v zimním období, jejíž hodnota je v rámci návrhu autonomního systému rozhodující. Z tohoto důvodu bylo provedeno měření a následná analýza naměřených dat.

4.1 Měření spotřeby elektrické energie

Podíly jednotlivých spotřebičů na celkové spotřebě elektrické energie byly měřeny v průběhu měsíce ledna roku 2013, a to pomocí bezdrátového měřiče spotřeby elektrické energie FK technics 6211 (Obrázek 4-2). V tom samém období byla odečítána i týdenní spotřeba elektrické energie z příslušného elektroměru, přičemž odečtené hodnoty znázorňuje Tabulka 4-1.

Tabulka 4-1 - Týdenní spotřeba elektrické energie

Datum		6.1.-13.1.	13.1.-20.1.	20.1.-27.1.
Týdenní spotřeba VT	[kWh]	32,3	33,2	32,8
Průměrná týdenní spotřeba	[kWh]	32,767		
Průměrná denní spotřeba	[kWh]	4,681		

Z odečtených hodnot lze vyvodit, že energetická náročnost domácnosti je prakticky ustálená a odchylky v jednotlivých týdnech jsou zanedbatelné. Průměrná týdenní spotřeba elektrické energie tedy činí 32,767 kWh, z čehož plyne průměrná denní spotřeba v zimním období v hodnotě 4,681 kWh.



Obrázek 4-2 - Měřič spotřeby elektrické energie FK 6211 [15]

Technické parametry měřícího zařízení FK 6211 zobrazuje Tabulka 4-2.

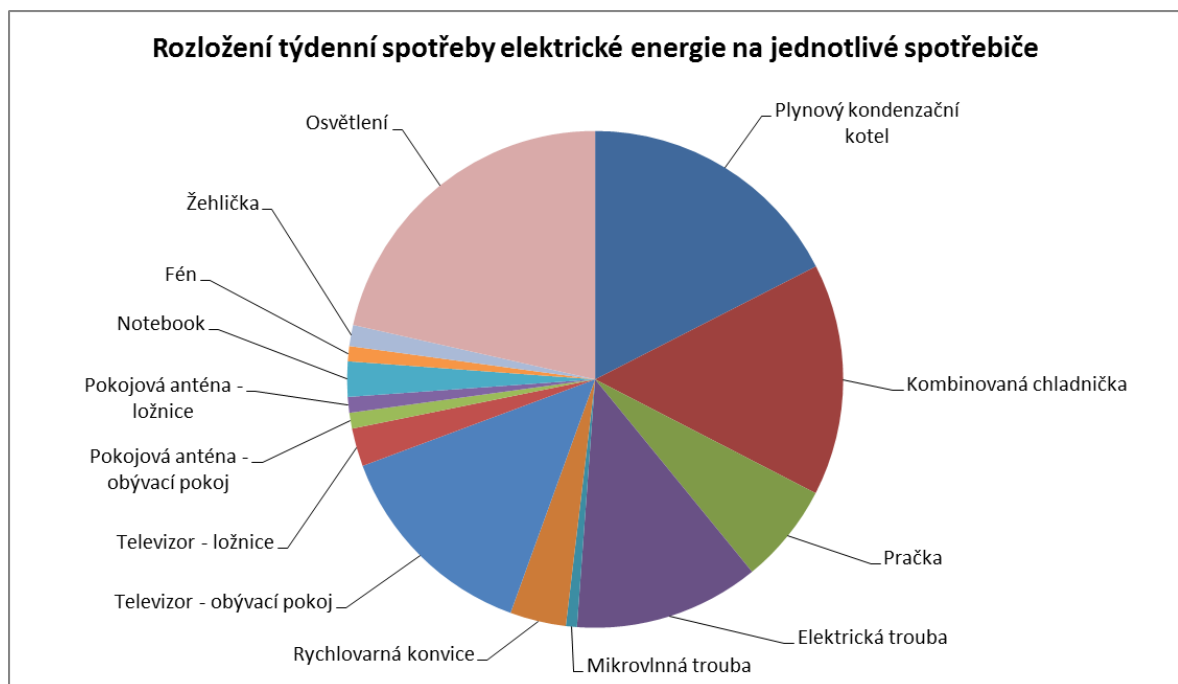
Tabulka 4-2 - Technické parametry měřiče FK 6211

Výrobce	Typ	Max. zatížení [W]	Max. proud [A]	Rozsah [W]	Jmenovité napětí [V]	Vlastní spotřeba [W]
FK technics	FK 6211	3600	16	0,2-3600	230	0,3

Naměřené hodnoty a procentuální zastoupení jednotlivých spotřebičů na průměrné týdenní spotřebě zobrazuje Tabulka 4-3 a Obrázek 4-3.

Tabulka 4-3 - Týdenní spotřeba jednotlivých spotřebičů

Spotřebič	Týdenní spotřeba elektrické energie [kWh]	Procentní podíl [%]
Plynový kondenzační kotel	5,729	17,5
Kombinovaná chladnička	4,944	15,1
Pračka	2,139	6,5
Elektrická trouba	3,955	12,1
Mikrovlnná trouba	0,235	0,7
Rychlovarná konvice	1,196	3,7
Televizor - obývací pokoj	4,522	13,8
Televizor - ložnice	0,813	2,5
Pokojeová anténa - obývací pokoj	0,336	1,0
Pokojeová anténa - ložnice	0,336	1,0
Notebook	0,750	2,3
Fén	0,322	1,0
Žehlička	0,450	1,4
Osvětlení	7,039	21,5



Obrázek 4-3 - Rozprostření týdenní spotřeby elektrické energie na jednotlivé spotřebiče

Z naměřených hodnot jasně vyplývá, že mezi spotřebiče s největším odběrem elektrické energie patří osvětlovací soustava, plynový kondenzační kotel, kombinovaná chladnička, televizor v obývacím pokoji, elektrická trouba a pračka. Možnosti úspor elektrické energie jsou tedy značné, zvláště z pohledu opravdu nešetrného osvětlení objektu.

4.2 Možnosti úspor elektrické energie

„Nejlevnější energie je ta, kterou nespotřebujeme.“, uvádí oblíbená poučka. Obzvláště pravdivé je toto rčení v případě soběstačného stylu života, kde je kompromis a jistá dávka askeze na denním pořádku. Na druhou stranu je nutné podotknout, že úspor energie nelze dosáhnout bez jisté finanční investice.

Výsledky měření spotřeby elektrické energie u vybraného objektu jasně ukazují, že prostoru pro hledání úspor je mnoho. K největšímu plýtvání energií dochází v osvětlovací soustavě bytové jednotky. Proč je tomu tak, nastíní následující podkapitola.

4.2.1 Osvětlovací soustava

Vysoká spotřeba elektrické energie osvětlovací soustavou je dána především její nevhodnou skladbou. Kromě trojice kompaktních zářivek se k osvětlení bytu používá výhradně nešetných klasických a halogenových žárovek. Seznam světelných zdrojů s jejich parametry je k vidění níže.

Tabulka 4-4 - Seznam světelných zdrojů

Místnost	Světelný zdroj	Typ patice	Kvantita	Jmenovitý příkon [W]	Celkový příkon [W]
veranda	žárovka	E27	1	60	60
předsíň	žárovka	E27	1	60	60
kuchyň	kompaktní zářivka	E27	3	9	27
	žárovka	E27	1	40	40
chodba	reflektorová halogenová žárovka	GU10	3	50	150
koupelna	reflektorová halogenová žárovka	GU10	3	50	150
obývací pokoj	žárovka	E27	4	60	240
	reflektorová žárovka	E14	1	40	40
schodiště	reflektorová halogenová žárovka	GU10	3	50	150
ložnice	žárovka	E27	6	60	360
				Celkový příkon světelných zdrojů [W]	1277

Celkový instalovaný příkon všech světelných zdrojů v objektu činí úctyhodných 1,277 kW. Pokud se nyní vezme v úvahu týdenní spotřeba elektrické energie potřebná k osvětlení objektu, jejíž hodnota činí 7,039 kWh, dojde se po zaokrouhlení k výsledné průměrné denní spotřebě 1 kWh, což je ekvivalentní hodnota k rozsvícení všech svítidel na dobu 47 minut.

Při výběru úsporného zdroje světla lze volit prakticky ze tří variant. První variantou je použití úsporných halogenových žárovek, druhou možností je použití kompaktních zářivek a třetí variantu tvoří elektroluminiscenční zdroje světla neboli LED žárovky.

Nahrazení klasických žárovek se stává nevyhnutelným krokem, jelikož jejich produkce a dovoz je orgány Evropské unie od srpna roku 2012 zakázán. Stále však lze prodávat jejich staré zásoby. Mnoho lidí tak přechází na halogenové žárovky, avšak i jejich produkce bude do roku 2016 utlumena.

Při výběru úsporného zdroje světla se lze orientovat dle energetického štítku, který k němu musí být přiložen. Součástí štítků jsou informace o energetické účinnosti výrobku, jeho světelném toku, příkonu a jmenovité střední době životnosti. [16]

Účinností světelného zdroje se rozumí podíl světelného toku k jeho příkonu, přičemž platí, že čím vyšší hodnota, tím vyšší účinnost. Nazývá se též měrným výkonem a jeho jednotkou je lumen na watt [lm/W]. Do hodnoty příkonu světelného zdroje se přitom nezapočítává příkon předřadníků, transformátorů nebo napájecích zdrojů.

Dříve se lidé při výběru běžných žárovek orientovali dle jejich příkonu. S nástupem úsporných zdrojů světla je nutné si uvědomit, že toto staré pravidlo již neplatí. V dnešní době se lze orientovat výhradně dle světelného toku, též označovaného jako světelný výkon. Tabulka 4-5 ukazuje ekvivalentní světelné výkony úsporných zdrojů, jimiž lze nahradit klasické žárovky o daných příkonech. U bodových zdrojů světla, které vyzařují světlo pod určitým úhlem, je naopak důležitá znalost svítivosti, jejíž jednotkou je kandela se značkou [cd].

Tabulka 4-5 - Světelný výkon ekvivalentní ke klasické žárovce o daném příkonu [17]

Klasická žárovka [W]	LED žárovka [lm]	Kompaktní zářivka [lm]	Halogenová žárovka [lm]
15	136	125	119
25	249	229	217
40	470	432	410
60	806	741	702
75	1055	970	920
100	1521	1398	1326

Z hlediska zrakové pohody je nutné rovněž hledět na teplotu chromatičnosti a index barevného podání R_a . Teplé světlo vyzařované klasickou žárovkou má teplotu chromatičnosti 2700 K a index barevného podání $R_a = 100$. Pro osvětlení domácnosti je tedy vhodné vybírat úsporný zdroj, jehož teplota chromatičnosti bude blízká klasické žárovce. Index barevného podání by měl dosahovat minimálně hodnoty $R_a = 80$, jinak by totiž docházelo ke zkreslenému vnímání barev.

Neméně důležitým faktorem je i startovací a zahřívací doba světelného zdroje. Wolframové, halogenové a LED zdroje nabíhají na plný výkon prakticky okamžitě. Kvalitní kompaktní zářivky jsou schopné dosáhnout 60 % světelného výkonu do 30 vteřin se startovací dobou do 2 vteřin. Záleží tedy na požadavcích samotného uživatele. Kompaktní zářivky nejsou rovněž vhodné pro venkovní použití, poněvadž jejich světelný výkon klesá s klesající teplotou okolí.

Tabulka 4-6 znázorňuje možnosti úspor v osvětlovací soustavě zkoumané bytové jednotky. Jedná se o kompromis mezi snížením spotřeby elektrické energie a nákladovou stránkou

investice. Radikální varianta přechodu na elektroluminiscenční světelné zdroje bude k vidění dále.

Tabulka 4-6 - Optimalizovaná světelná soustava

Místnost	Světelný zdroj	Typ patice	Kvantita	Jmenovitý příkon [W]	Celkový příkon [W]
veranda	halogenová žárovka	E27	1	42	42
předsíň	kompaktní zářivka	E27	1	14	14
kuchyň	kompaktní zářivka	E27	3	14	42
	halogenová žárovka	E27	1	28	28
chodba	reflektorová LED žárovka	GU10	3	4	12
koupelna	reflektorová LED žárovka	GU10	3	4	12
obývací pokoj	kompaktní zářivka	E27	4	14	56
	halogenová reflektorová žárovka	E14	1	28	28
schodiště	reflektorová LED žárovka	GU10	3	4	12
ložnice	kompaktní zářivka	E27	3	15	45
	kompaktní zářivka	E27	3	14	42
				Celkový příkon světelných zdrojů [W]	333

Při porovnání údajů s neoptimalizovanou osvětlovací soustavou lze vidět, že celkový instalovaný příkon světelných zdrojů v objektu poklesl z hodnoty 1277 W na 333 W. To představuje snížení instalovaného příkonu o 73,9 %. Za předpokladu, že by takto poklesla i týdenní spotřeba elektrické energie, znamenalo by to pokles ze 7,039 kWh na 1,837 kWh. Průměrná denní spotřeba by poté činila 262,43 Wh.

Výběr světelných zdrojů byl proveden dle požadavků stávajících svítidel a s ohledem na odhadovanou dobu jejich používání. Proto bylo použito i halogenových žárovek, a to ve svítidlech, jejichž využití v průběhu týdne je malé. Naopak ve frekventovaných místnostech a chodbách bylo použito vybraných kompaktních zářivek, či LED žárovek. Přehled vybraných světelných zdrojů uvádí Tabulka 4-7.

Tabulka 4-7 - Přehled vybraných světelných zdrojů [18],[19],[20],[21],[22],[23]

Výrobce		Philips	Osram	Philips	Philips	Philips	Philips
Typ		MASTER LEDspotMV	Dulux Superstar Micro Twist	Tornado Esaver	EcoClassic 30	EcoClassic 30	EcoClassic 30
Technologie	[-]	LED	CFL	CFL	HALOGEN	HALOGEN	HALOGEN
Patice	[-]	GU10	E27	E27	E27	E14	E27
Životnost	[h]	25 000	10 000	8 000	2 000	2 000	2 000
Vyzařovací úhel	[°]	25	-	-	-	30	-
Teplota chromatičnosti	[K]	2 700	2 500	2 700	2 800	2 800	2 800
Svítivost	[cd]	700	-	-	-	400	-
Světelný tok	[lm]	180	740	900	630	-	370
Měrný výkon	[lm/W]	45	53	60	15	-	13
R _a	[-]	> 80	> 80	> 80	100	100	100
Příkon	[W]	4	14	15	42	28	28
Stmívatelnost	[-]	ano	ne	ano	ano	ano	ano
Počet cyklů vyp./zap.	[-]	50 000	10 000	8 000	8 000	8 000	8 000
Startovací doba	[s]	0	0.3	2	0	0	0
Zahřívací doba	[s]	0	30	30	0	0	0
Cena bez DPH	[Kč]	356	181	329	36	54	36
Kvantita	[ks]	9	11	3	1	1	1
Celková cena bez DPH	[Kč]	3 206	1 986	988	36	54	36
Celková cena s DPH	[Kč]	3 879	2 404	1 196	44	66	44

Celková cena kompletní výměny světelných zdrojů činí 7 631 Kč s DPH. Všechny ceny pocházejí z webových stránek <http://www.zarovsky.cz>.

Poslední a zároveň nejúspornější variantu znázorňuje Tabulka 4-8. V tomto případě bylo použito výhradně elektroluminiscenčních světelných zdrojů.

Tabulka 4-8 - Optimalizovaná světelná soustava (LED)

Místnost	Světelný zdroj	Typ patice	Kvantita	Jmenovitý příkon [W]	Celkový příkon [W]
veranda	LED žárovka	E27	1	7,3	7,3
předsíň	LED žárovka	E27	1	10,0	10,0
kuchyň	LED žárovka	E27	3	10,0	30,0
	LED žárovka	E27	1	7,3	7,3
chodba	reflektorová LED žárovka	GU10	3	4,0	12,0
koupelna	reflektorová LED žárovka	GU10	3	4,0	12,0
obývací pokoj	LED žárovka	E27	4	10,0	40,0
	reflektorová LED žárovka	E14	1	6,0	6,0
schodiště	reflektorová LED žárovka	GU10	3	4,0	12,0
ložnice	LED žárovka	E27	6	10,0	60,0
				Celkový příkon světelných zdrojů [W]	196,6

Při porovnání s údaji, které uvádí Tabulka 4-4, lze vidět, že celkový instalovaný příkon světelných zdrojů v objektu poklesl z hodnoty 1277 W na 196,6 W. To představuje snížení instalovaného příkonu o 84,6 %. Za předpokladu, že by takto poklesla i týdenní spotřeba elektrické energie, znamenalo by to pokles ze 7,039 kWh na 1,084 kWh. Průměrná denní spotřeba by poté činila 154,86 Wh.

Konkrétní složení osvětlovací soustavy a specifikace použitých světelných zdrojů zobrazuje Tabulka 4-9.

Tabulka 4-9 - Přehled vybraných elektroluminiscenčních zdrojů světla [18],[24],[25],[26]

Výrobce		Philips	Verbatim	Verbatim	Osram
Typ		MASTER LEDspotMV	Classic A	Classic A	Parathom R50
Technologie	[-]	LED	LED	LED	LED
Patice	[-]	GU10	E27	E27	E14
Životnost	[h]	25 000	30 000	30 000	25 000
Vyzařovací úhel	[°]	25	-	-	30
Teplota chromatičnosti	[K]	2 700	3 000	3 000	3 000
Svítivost	[cd]	700	-	-	500
Světelný tok	[lm]	180	820	480	170
Měrný výkon	[lm/W]	45,0	82,0	65,8	28,3
R _a	[-]	> 80	> 80	> 80	> 80
Příkon	[W]	4	10	7,3	6
Stmívatelnost	[-]	ano	ne	ne	ne
Počet cyklů vyp./zap.	[-]	50 000	20 000	20 000	50 000
Cena bez DPH	[Kč]	356	360	300	456
Kvantita	[ks]	9	14	2	1
Celková cena bez DPH	[Kč]	3 206	5 039	600	456
Celková cena s DPH	[Kč]	3 879	6 097	726	552

Celková cena kompletní výměny světelných zdrojů činí 11 254 Kč s DPH. Všechny ceny pocházejí z webových stránek <http://www.zarovsky.cz>.

4.2.2 Ostatní spotřebiče

Při výběru spotřebičů je nutné dbát na jejich co nejvyšší účinnost. U zkoumané bytové jednotky se její obyvatelé tímto pravidlem bohužel neřídili a i přesto, že byl byt kompletně vybaven novými spotřebiči teprve přede dvěma lety, existuje pro úspory mnoho prostoru.

Kondenzační plynový kotel

Druhým největším spotřebičem elektrické energie je v zimním období kondenzační plynový kotel Protherm LEV 30KKZ. Samotný dům je sice zateplen, ale nedokonale, jelikož chybí izolace podkrovních prostor. Navíc v objektu nebyla stále vyměněna stará dřevěná špaletová okna za moderní plastová, což je v blízké budoucnosti v plánu. Doplněním tepelné izolace a výměnou oken by se samozřejmě snížila energetická náročnost bytové jednotky na vytápění, a tím by i poklesla potřeba elektrické energie pro chod kotle. V návrhu se však bude počítat se stávající spotřebou elektrické energie, která byla naměřena přístrojem FK 6211.

Kombinovaná chladnička

Třetím v pořadí je dle měření kombinovaná chladnička. Jedná se o typ Amica ACZ 320iM, jejíž parametry a porovnání s nejušpornější kombinovanou chladničkou ukazuje Tabulka 4-10.

Tabulka 4-10 - Porovnání kombinovaných chladniček

Výrobce	Typ	Třída energetické náročnosti	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Užitný objem [l]
Amica	ACZ 320iM	A	328	299
Bosch	KDE33AL40	A+++	139	293

Rozdíl mezi běžnou a úspornou kombinovanou chladničkou je propastný. Pořízením úsporného spotřebiče lze dosáhnout snížení spotřeby elektrické energie o 57,6 %. Průměrná týdenní spotřeba kombinované chladničky by měla, dle hodnot uvedených v tabulce výše, dosahovat hodnoty 2,666 kWh. Cena úsporné lednice začíná na částce 13 990 Kč.

Televizor

Dalším spotřebičem s velkým odběrem elektrické energie je televizor LG 32LE4500 v obývacím pokoji. Dle měření je televizor v provozu v průběhu týdne průměrně 55,59 hodiny. Vezme-li se v úvahu jeho týdenní spotřebu 4522 Wh, činí průměrná hodinová spotřeba televizoru 81,35 Wh. Lze vidět, že spotřeba je závislá na nastavení a způsobu použití, jelikož je vyšší než udávaná spotřeba v zapnutém stavu, která činí 65,5 W.

Tabulka 4-11 - Porovnání televizorů

Výrobce	Typ	Úhlopříčka [cm]	Rozlišení	Stand-by spotřeba [W]	Spotřeba-zapnuto [W]	Třída energetické náročnosti
LG	32LE4500	82	Full HD	0,2	65,5	-
Panasonic	TX-L32E5E	80	Full HD	0,2	30,0	A+

Tabulka 4-11 ukazuje, že rozdíl mezi úsporným a použitým televizorem činí ve spotřebě v zapnutém stavu 54,2 %. Týdenní spotřeba úsporného televizoru by tak v optimálním případě činila 1,668 kWh. Opět tedy nemalý rozdíl, přičemž cena televizoru začíná na 8 887 Kč.

Pračka

Z dalších velkých spotřebičů následuje pračka Amica AWSN 10DA s předním plněním. Její parametry a porovnání s úsporným modelem Whirlpool AWOE 8914 zobrazuje Tabulka 4-12.

Tabulka 4-12 - Porovnání praček

Výrobce	Typ	Třída energetické náročnosti	Kapacita praní [kg]	Spotřeba elektrické energie [Wh/kg]
Amica	AWSN 10DA	-	5	142,6
Whirlpool	AWOE 8914	A+++	8	88,0

Vezme-li se v úvahu, že v domácnosti proběhnou průměrně tři prací cykly za týden s plnou náplní bubny, tedy s 5 kg, činí to dohromady náplň o hmotnosti 15 kg. Týdenní spotřeba elektrické energie pračky Amica AWSN 10DA je dle měření 2,139 kWh. Na jeden kilogram náplně tak připadá 142,6 Wh energie, zatímco úsporná pračka spotřebuje pouze 88 Wh/kg. Vcelku to znamená úsporu elektrické energie na jeden kilogram náplně ve výši 38,3 %. Týdenní spotřeba úsporné pračky by tak v daném režimu byla 1,320 kWh. Její cena začíná na částce 13 490 Kč.

U některých praček existuje i možnost jejich napouštění teplou vodou namísto studené, čímž odpadne proces ohřevu vody. Jedná se však povětšinou o kutilská řešení a v rámci zachování určitého komfortu bydlení nebudou uvažovány.

Elektrická trouba

Posledním spotřebičem s procentuálním podílem ve spotřebě elektrické energie vyšším než 10 % je elektrická trouba Fagor 6H-175B s maximálním příkonem 2670 W. V tomto případě je náhrada složitá. Jedinou možností, kterou lze vidět i v mnoha ostrovních aplikacích je nahrazení elektrických sporáků a trub jejich plynovými protějšky, například kvalitním plynovým sporákem Mora PS 142 MW1, jehož cena začíná na částce 5 039 Kč.

Všechny technické parametry úsporných spotřebičů v této podkapitole byly přebrány z webových stránek <http://www.uspornespotrebice.cz/>. Údaje o cenách jsou uvedeny včetně DPH a přebrány ze stránek <http://www.heureka.cz/>.

4.2.3 Spotřeba v pohotovostním režimu

Při hledání úspor na straně spotřeby elektrické energie nelze opomenout spotřebu jednotlivých spotřebičů v pohotovostním režimu. Do této kategorie lze zahrnout pokojové antény, mikrovlnnou troubu a elektrický sporák. Televizory jsou připojeny skrze prodlužovací příklady a pravidelně vypínány, tudíž nebude jejich spotřeba v pohotovostním režimu uvažována.

Pokojová anténa v zapnutém stavu odebírá 2 W, přičemž běží po celý týden. Pokud by byla vypínána spolu s televizory, bylo by možné dosáhnout úspor, které znázorňuje Tabulka 4-13. Vidíme, že tímto způsobem je možné během jednoho týdne uspořit 540,82 Wh.

Tabulka 4-13 - Vyhodnocení spotřeby pokojových antén

Spotřebič	Týdenní spotřeba elektrické energie [Wh]	Příkon v pohotovostním režimu [W]	Skutečné provozní hodiny v týdnu [hod]	Týdenní spotřeba bez pohotovostního režimu [Wh]
Anténa - obývací pokoj	336,0	2,0	55,59	111,2
Anténa - ložnice	336,0	2,0	10,00	20,0

Součástí elektrické a mikrovlnné trouby jsou digitální displeje zobrazující údaje o nastavení spotřebičů a aktuálním čase, které během týdne spotřebovávají zbytečně elektřinu. Z údajů, které uvádí Tabulka 4-14, je patrné, že vypínáním těchto spotřebičů v případě nečinnosti je možné týdně uspořit 403,2 Wh elektrické energie. Mikrovlnná trouba po odečtení stand-by spotřeby spotřebuje týdně pouhých 50,2 Wh, z čehož plyne, že není téměř používána.

Tabulka 4-14 - Vyhodnocení spotřeby elektrické a mikrovlnné trouby v pohotovostním režimu

Spotřebič	Týdenní spotřeba elektrické energie [Wh]	Příkon v pohotovostním režimu [W]	Spotřeba v pohotovostním režimu [Wh]	Týdenní spotřeba bez pohotovostního režimu [Wh]
Mikrovlnná trouba	235	1,1	184,8	50,2
Elektrická trouba	3955	1,3	218,4	3 736,6

Z uvedeného vyplývá, že pouhým vypínáním elektrických spotřebičů, například pomocí prodlužovacích přívodů, lze v průběhu týdne ušetřit na straně spotřeby až 944,02 Wh, tedy necelý 1 kWh elektrické energie.

4.3 Vyhodnocení energetické náročnosti objektu

Jak plyne z předcházejících podkapitol, vybraná mezonetová bytová jednotka nepatří mezi ty energeticky náročnější. I přesto je však možné docílit až překvapivého snížení spotřeby elektrické energie prostřednictvím zakoupení úsporných spotřebičů.

Z hlediska návrhu autonomního zásobování elektrickou energií tak bude uvažováno několik variant provozu domácnosti, jež se budou odlišovat skladbou spotřebičů, a tím pádem i svojí energetickou náročností. Důvodem tohoto počínání je potvrzení předpokladu, že investice do úsporných spotřebičů a osvětlení přinese nemalé finanční úspory při samotném dimenzování autonomního systému.

4.3.1 První návrhová varianta

Návrh autonomního systému pro tuto variantu vychází ze současného rozvrstvení elektrických spotřebičů, bez uvažování jakýchkoliv úsporných opatření. Tudiž bude počítáno s průměrnou týdenní spotřebou elektrické energie v období listopad - únor ve výši 32,767 kWh. Průměrně tedy domácnost v této variantě spotřebuje denně 4,681 kWh.

Tabulka 4-15 - Skladba spotřebičů v první návrhové variantě

Spotřebič	Týdenní spotřeba elektrické energie [kWh]
Plynový kondenzační kotel	5,729
Kombinovaná chladnička	4,944
Pračka	2,139
Elektrická trouba	3,955
Mikrovlnná trouba	0,235
Rychlovarná konvice	1,196
Televizor - obývací pokoj	4,522
Televizor - ložnice	0,813
Pokojová anténa - obývací pokoj	0,336
Pokojová anténa - ložnice	0,336
Notebook	0,750
Fén	0,322
Žehlička	0,450
Osvětlení	7,039
Celková týdenní spotřeba [kWh]	32,767
Průměrná denní spotřeba [kWh]	4,681

4.3.2 Druhá návrhová varianta

V této variantě bude uvažováno použití energeticky úsporného osvětlení, ovšem s přihlédnutím k finanční stránce takové investice. Použito tedy bude i halogenových žárovek, a to v méně frekventovaných prostorách bytu.

Dále se bude počítat s omezením spotřeby elektrické energie pokojových antén a elektrické trouby v pohotovostním režimu a také nebude do výpočtu zanesena spotřeba mikrovlnné trouby, jelikož, jak bylo zjištěno v podkapitole 3.3.3, trouba je během týdne téměř nevyužita a více jak 78 % elektrické energie spotřebuje jen pro chod digitálního displeje.

Celková investice do těchto úsporných opatření, kromě vlastní kázně, činí 7 631 Kč. Jedná se tedy pouze o finance vynaložené na koupi úsporných světelných zdrojů.

Ve druhé návrhové variantě tak průměrná denní spotřeba činí 3,796 kWh. Týdenní spotřeba se vyšplhá na 26,570 kWh, což je o 6,197 kWh méně než u první varianty.

Tabulka 4-16 - Skladba spotřebičů ve druhé návrhové variantě

Spotřebič	Týdenní spotřeba elektrické energie [kWh]
Plynový kondenzační kotel	5,729
Kombinovaná chladnička	4,944
Pračka	2,139
Elektrická trouba	3,737
Rychlovarná konvice	1,196
Televizor - obývací pokoj	4,522
Televizor - ložnice	0,813
Pokožová anténa - obývací pokoj	0,111
Pokožová anténa - ložnice	0,020
Notebook	0,750
Fén	0,322
Žehlička	0,450
Osvětlení	1,837
Celková týdenní spotřeba [kWh]	26,570
Průměrná denní spotřeba [kWh]	3,796

4.3.3 Třetí návrhová varianta

Poslední uvažovanou variantou bude komplexní kombinace úsporných spotřebičů, zahrnující úsporné televizory, kombinovanou chladničku, pračku, elektroluminiscenční světelné zdroje a omezení spotřeby spotřebičů v pohotovostním režimu. Součástí poslední varianty bude i náhrada elektrické trouby a rychlovarné konvice plynovým ohřevem, a to z důvodu jejich vysoké energetické náročnosti. To se samozřejmě negativně projeví na straně spotřeby zemního plynu. Avšak vzhledem k tomu, že již dnes je k ohřevu využíván pouze plynový sporák, neměly by být následky tak citelné. Zcela vypuštěna bude z návrhu i mikrovlnná trouba, a to z důvodů uvedených výše.

Celková týdenní spotřeba elektrické energie v této variantě činí 14,420 kWh, což dává denní průměr v hodnotě 2,060 kWh. Oproti první návrhové variantě tak lze uspořit týdně 18,347 kWh.

Tabulka 4-17 - Skladba spotřebičů ve třetí návrhové variantě

Spotřebič	Týdenní spotřeba elektrické energie [kWh]
Plynový kondenzační kotel	5,729
Kombinovaná chladnička	2,666
Pračka	1,320
Televizor - obývací pokoj	1,668
Televizor - ložnice	0,300
Pokojová anténa - obývací pokoj	0,111
Pokojová anténa - ložnice	0,020
Notebook	0,750
Fén	0,322
Žehlička	0,450
Osvětlení	1,084
Celková týdenní spotřeba [kWh]	14,420
Průměrná denní spotřeba [kWh]	2,060

Tabulka 4-18 zobrazuje úsporné spotřebiče a světelné zdroje spolu s jejich cenami a vyčísluje vyšší potřebné investice.

Tabulka 4-18 - Ceny úsporných spotřebičů a světelných zdrojů

Spotřebič	Výrobce	Typ	Cena bez DPH	DPH [%]	Cena s DPH
Kombinovaná chladnička	Bosch	KDE33AL40	11 562 Kč	21	13 990 Kč
Televizor	Panasonic	TX-L32E5E	7 345 Kč	21	8 887 Kč
Televizor	Panasonic	TX-L32E5E	7 345 Kč	21	8 887 Kč
Plynový sporák	Mora	PS 142 MW1	4 164 Kč	21	5 039 Kč
Pračka	Whirlpool	AWOE 8914	11 149 Kč	21	13 490 Kč
Světelné zdroje	-	-	9 301 Kč	21	11 254 Kč
		Celková cena	50 865 Kč	21	61 547 Kč

V případě prodeje stávajícího vybavení by se dal očekávat příjem na úrovni 30 000 Kč. Vyměnit stávající spotřebiče za úsporné by tedy znamenalo investovat do nového vybavení přibližně částku 31 547 Kč s DPH.

5 DIMENZOVÁNÍ HYBRIDNÍHO OSTROVNÍHO SYSTÉMU

Energetický regulační úřad definuje ostrovní systém jako provoz energetických zařízení (zdrojů a k nim připojených spotřebičů) prokazatelně galvanicky oddělených od elektrizační soustavy, a to nejenom spínacím nebo jisticím prvkem. Dle novely zákona č. 180/2005 Sb. není možné od 1. ledna 2011 nárokovat jakoukoliv státní podporu na nově postavená výrobní zařízení v ostrovním provozu. [27]

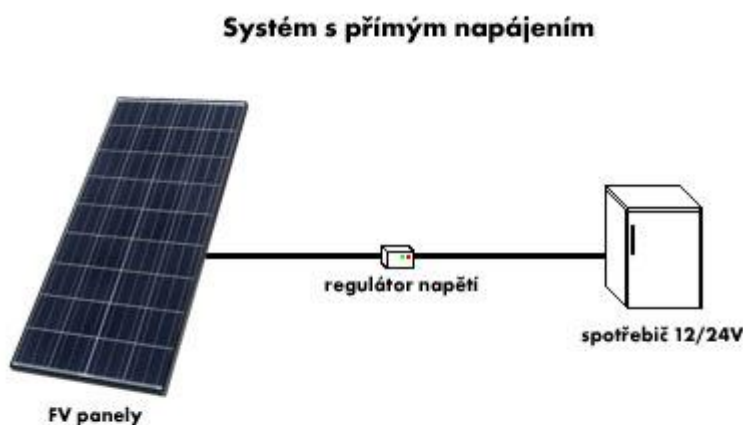
5.1 Funkční schémata zapojení

Ostrovní systémy můžeme spatřit často v chatových oblastech, či v horských podmínkách. V menších aplikacích se s nimi setkal skoro každý z nás, jelikož jsou takto napájeny některé kalkulátory, digitální hodinky, parkovací automaty, či karavany. Základním a nejdůležitějším prvkem jsou fotovoltaické panely. Ty lze použít samostatně například k napájení chaty, pokud není vyžadováno celoroční zásobení elektrickou energií. V opačném případě se fotovoltaický systém vybavuje ještě doplňkovým zdrojem energie, jelikož zimní zisky solárních panelů bývají velmi malé a dodávka energie nestálá. V převážné většině bývá doplňkovým zdrojem energie elektrocentrála, případně v místech s vyhovujícími větrnými podmínkami to může být i malá větrná elektrárna. V budoucnosti lze také počítat s využitím palivových článků.

Ostrovní systémy tedy nacházejí široké uplatnění od zařízení poskytujících malé výkony až po rozsáhlejší domovní aplikace, kterými se zabývá tato práce. Jednotlivé systémy lze dle způsobu jejich zapojení rozřadit do následujících kategorií:

1) Ostrovní systémy s přímým napájením a stejnosměrným napětím

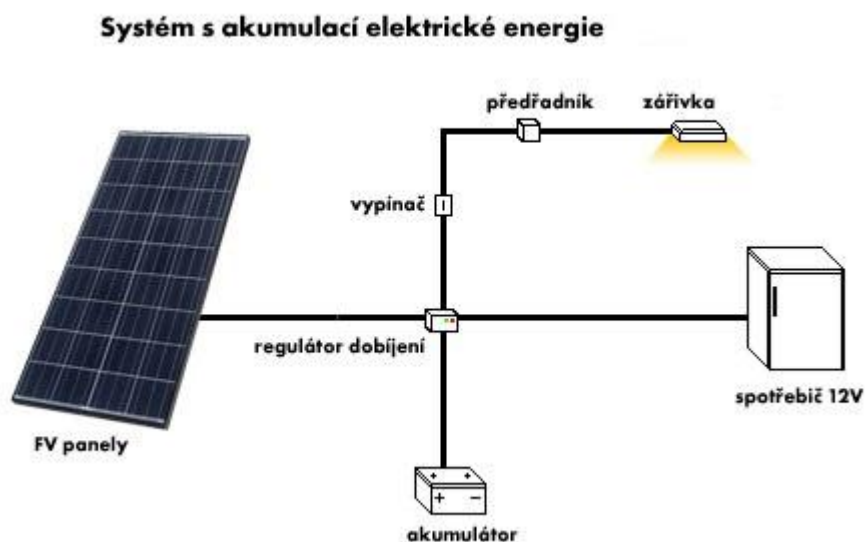
Jedná se o propojení solárního modulu se spotřebičem přes regulátor napětí. Spotřebič tedy funguje jen ve chvílích dostatečné intenzity slunečního záření. Může jít například o ventilátory sloužící k odvětrání prostor, zavlažovací čerpadla, či nabíjení akumulátorů malých zařízení jako jsou mobilní telefony a notebooky.



Obrázek 5-1 - Schéma systému s přímým napájením [28]

2) Ostrovní systémy s akumulací energie a stejnosměrným napětím

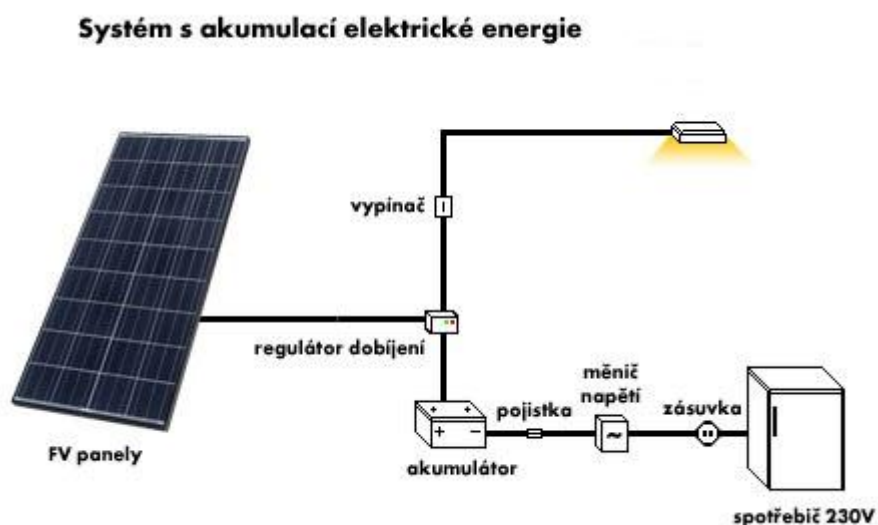
Kvůli zachování komfortu i v době bez slunečního svitu se vyrobená elektrická energie uchovává v akumulátorech pro její pozdější využití. Elektrický rozvod je přitom uzpůsoben stejnosměrnému napětí a stejně tak i spotřebiče. V dnešní době se dá pořídit většina spotřebičů nutných k chodu domácnosti jako je lednice, velkoplošný televizor, světelné zdroje a mnoho dalších. Jejich rozšíření však brání vyšší pořizovací náklady a mnohdy i nižší účinnost oproti spotřebičům, které využívají napětí střídavé.



Obrázek 5-2 - Schéma systému s akumulací elektrické energie (DC napětí) [28]

3) Ostrovní systémy s akumulací energie a napětím DC/AC

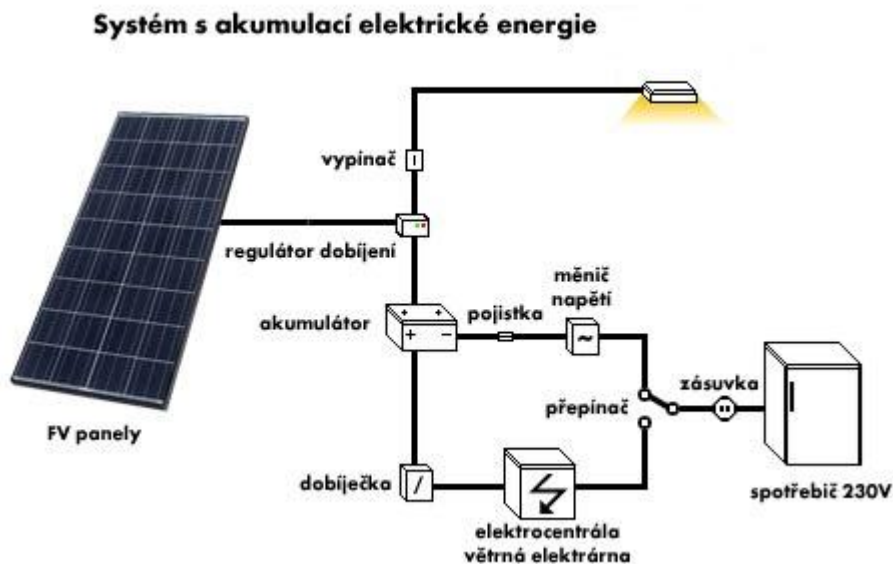
V případě, že již vlastníme spotřebiče na střídavé napětí 230 V s frekvencí 50 Hz, je nutné do systému zařadit ještě měnič napětí (střídač), který se postará o konverzi stejnosměrného napětí. Systémy lze kombinovat a použít například pro osvětlení interiérů stejnosměrné napětí 12 V.



Obrázek 5-3 - Schéma systému s akumulací elektrické energie (DC/AC) [28]

4) Hybridní ostrovní systémy s akumulací energie

V případě nutnosti celoročního provozu nemovitosti se fotovoltaické panely většinou doplňují přídatným zdrojem elektrické energie jako je elektrocentrála, či větrná turbína. Tento zdroj má za úkol pokrýt potřebu elektrické energie v zimních měsících, kdy je intenzita slunečního záření nízká a energetické zisky malé.



Obrázek 5-4 - Schéma hybridního systému s akumulací elektrické energie [28]

5.2 Výběr fotovoltaických panelů

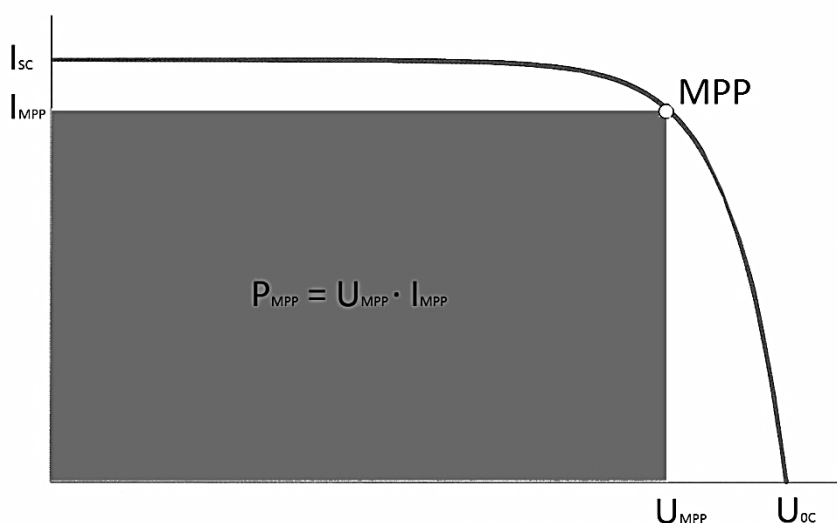
Základním kamenem navrhovaného autonomního systému jsou fotovoltaické panely. Před samotným dimenzováním systému byl však nejprve proveden průzkum trhu a vyhodnocení jednotlivých fotovoltaických technologií jak z hlediska jejich technických parametrů, tak i z pohledu jejich finanční náročnosti.

K tomu, aby bylo plně porozuměno významu všech veličin, které uvádí Tabulka 5-1, je nejprve nutné vysvětlit jednotlivé pojmy.

5.2.1 Elektrické parametry článků

Výkon fotovoltaického článku lze z praktického hlediska popsat pomocí proudově-napěťové charakteristiky, jejíž průběh je dán několika parametry.

Prvním je proud nakrátko I_{SC} , jenž je roven proudu generovanému světlem, jestliže je sériový odpor R_S nulový. Sériový odpor má svůj původ v celkovém odporu hmoty polovodiče a odporu kontaktů a propojení. Pokud je jeho hodnota různá od nuly, dochází ke snižování velikosti proudu nakrátko I_{SC} . Pokud není ke článku připojena zátěž, nachází se článek ve stavu naprázdno. Druhým důležitým parametrem je tedy napětí naprázdno U_{OC} . [29]



Obrázek 5-5 - I-U charakteristika fotovoltaického článku

Cílem je vždy získat ze solárního článku maximální výkon. Vyjde-li se z proudově-napěťové charakteristiky, představuje maximální výkon článku největší obdélník, jenž je možno vepsat pod průběh charakteristiky. V jeho průniku s křivkou je vyznačen bod MPP (Maximum Power Point) a na osách napětí U_{MPP} a proud I_{MPP} . Při těchto hodnotách napětí a proudu článek dodává nejvíce energie a pro jeho výkon lze psát:

$$P_{MPP} = U_{MPP} \cdot I_{MPP} \quad [W]$$

Nyní je možné vyjádřit vztah pro samotnou účinnost fotovoltaického článku:

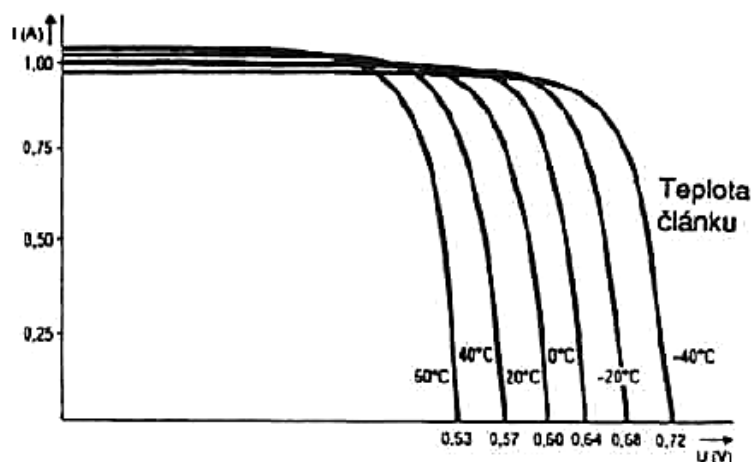
$$\eta = \frac{U_{MPP} \cdot I_{MPP}}{\phi} \quad [-]$$

kde veličina ϕ představuje dopadající energii slunečního záření.

5.2.2 Vliv teploty na parametry modulu

V letních měsících může teplota článků dosahovat vysokých hodnot, což má poměrně markantní vliv na jejich výstupní výkon, který u křemíkových článků klesá přibližně o 0,4 až 0,5 % na 1 °C. Pokud tedy například teplota křemíkového článku vystoupá na 50 °C, tak oproti testovací teplotě 25 °C dojde k poklesu výstupního výkonu až o 12,5 %. K poklesu dochází v důsledku zmenšení hodnoty napětí naprázdno U_{0C} . Proud nakrátko se nemění, nebo jen lehce vzrůstá a to z důvodu zvýšené světelné absorpce. Tenkovrstvá technologie je v tomto ohledu lepší, jelikož pokles výkonu na 1 °C je zhruba poloviční. [29]

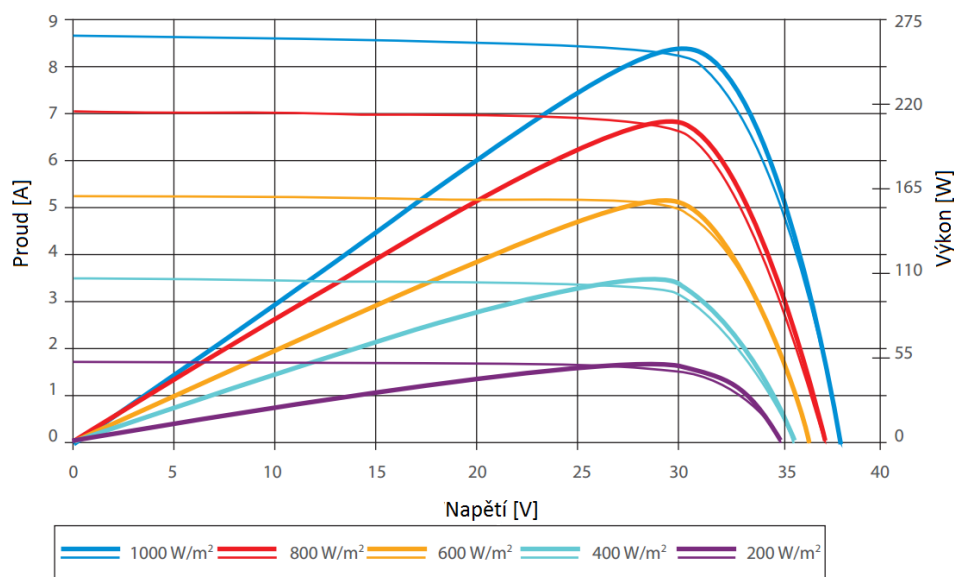
Naopak pokud teplota článku poklesne pod 25 °C, dojde ke zvýšení napětí. V zimě se tak napětí naprázdno modulu může vyšplhat až 20 % nad jeho jmenovitou hodnotu. [10] S tímto faktem je nutné počítat při dimenzování solárního regulátoru, a to z důvodu, aby nebyla překročena jeho dovolená hodnota vstupního napětí naprázdno.



Obrázek 5-6 - Vliv teploty na I-U charakteristiku solárního článku [29]

5.2.3 Vliv intenzity slunečního záření na výkon modulu

Intenzita slunečního záření se projevuje přímo na proudu modulu. Sníží-li se jeho hodnota na polovinu, klesne i proud na polovinu. [10] Příklad poklesu proudu a výkonu při snížení intenzity slunečního záření znázorňuje Obrázek 5-7. Jedná se o solární modul od společnosti Suntech, jehož parametry obsahuje Tabulka 5-1.



Obrázek 5-7 - I-U charakteristika polykrystalického modulu Suntech STP250S-20/Wd [31]

5.2.4 Testovací podmínky

STC (Standard Testing Conditions) lze přeložit jako standardní testovací podmínky. Moduly jsou testovány při intenzitě slunečního záření 1000 W/m^2 , teplotě $25 \text{ }^\circ\text{C}$ a slunečním spektru $\text{AM}= 1,5$. AM (Air Mass) vyjadřuje odchylku Slunce od ideální polohy vůči zemskému povrchu. Je-li Slunce kolmo k zemskému povrchu je $\text{AM}= 1$ a sluneční světlo musí urazit nejkratší dráhu. V našich zeměpisných šířkách toho však nelze dosáhnout, jelikož světlo dopadá na povrch pod určitým úhlem, a tak je nutné jeho hodnotu korigovat.

NOCT (Normal Operating Cell Temperature) slouží k reálnějšímu porovnání výkonnosti solárních modulů, jelikož výkonu modulů za STC se podaří dosáhnout zřídka. Podmínky

jsou dány hodnotou intenzity slunečního záření 800 W/m^2 , teplotou $20 \text{ }^\circ\text{C}$ a průměrnou rychlostí proudícího vzduchu 1 m/s .

5.2.5 Srovnání vybraných typů fotovoltaických panelů

Tabulka 5-1 znázorňuje srovnání solárních modulů založených na bázi křemíku. Výrobky pocházejí od předních výrobců angažujících se v tomto odvětví průmyslu. Lze spatřit, že účinnost polykrystalické a monokrystalické technologie se pohybuje nad 15 %, u amorfni je to téměř 7 %. Ostatní parametry jako je napětí, proud, či teplotní ztrátové koeficienty se u modulů se stejným výkonem o mnoho neliší.

Pokud se jedná o teplotní ztrátové koeficienty, potvrzuje se, že tenkovrstvá technologie amorfniho křemíku trpí pouze poloviční ztrátou výkonu při vzrůstu teploty o $1 \text{ }^\circ\text{C}$ oproti oběma ostatním. Naopak, aby amorfni panely dosáhly stejného výkonu jako monokrystalické a polykrystalické panely, musel by se jimi osadit více jak dvojnásobek plochy. Cena produktů uvedených v tabulce byla zjišťována pomocí německého vyhledávače www.preisroboter.de a jedná se o nejnižší nalezenou cenu.

Tabulka 5-1 - Srovnání parametrů vybraných solárních modulů [30],[31],[32],[33],[34]

testovací metoda	parametry	jednotky	Polykrystalický		Monokrystalický		Amorfni
			Yingli YL250P-29b	Suntech STP250-20/Wd	Yingli YL250C-30b	Bosch c-SI M60 M250	Schott Protect ASI 100
STC	P_{MPP}	[Wp]	250	250	250	250	100
	η	[%]	15,3	15,4	15,3	15,2	6,9
	U_{MPP}	[V]	30,4	30,7	30,5	30,3	30,4
	I_{MPP}	[A]	8,24	8,15	8,20	8,25	3,29
	U_{OC}	[V]	38,4	37,4	38,1	37,9	40,9
	I_{SC}	[A]	8,79	8,63	8,71	8,82	3,93
NOCT	P_{MPP}	[Wp]	181	185	182	182	78
	U_{MPP}	[V]	27,6	28,0	27,6	27,4	28,5
	I_{MPP}	[A]	6,56	6,59	6,58	-	-
	U_{OC}	[V]	35,4	34,5	35,1	34,8	37,3
	I_{SC}	[A]	7,12	7,01	7,02	7,11	3,14
Ostatní	γ_{Pmpp}	[%/°C]	-0,45	-0,43	-0,42	-0,44	-0,20
	β_{Uoc}	[%/°C]	-0,33	-0,33	-0,31	-0,31	-0,33
	α_{Isc}	[%/°C]	0,06	0,07	0,04	0,03	0,08
	S	[m ²]	1,63	1,63	1,63	1,64	1,45
	Cena bez DPH	[EUR]	155,15	173,25	184,96	205,00	56,20
	DPH	[%]	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
	Cena s DPH	[EUR]	184,63	206,17	220,10	243,95	66,88
	Cena za 1 Wp	[EUR/Wp]	0,74	0,82	0,88	0,98	0,67

Porovnáním všech vybraných solárních modulů z hlediska ceny za 1 Wp výkonu bylo zjištěno, že nejvýhodnější variantou je pořízení amorfniho, či polykrystalických solárních panelů, u nichž je tento ukazatel nejnižší a pohybuje se pod hranicí $0,75 \text{ EUR/Wp}$.

5.3 Dimenzování fotovoltaického systému

Fotovoltaický systém bude dimenzován na pokrytí spotřeby v období březen-říjen, což znamená, že v zimním období musí být podporován přídatným zdrojem. Výběrem přídatného zdroje se ale zabývají až následující podkapitoly.

Z výše uvedeného vyplývá, že výkon fotovoltaického generátoru bude dimenzován dle nejslabšího měsíce v tomto období, tedy měsíce října a spotřeb elektrické energie, jež byly pro jednotlivé návrhové varianty stanoveny v podkapitole 4.3. Vypočtený výkon fotovoltaické elektrárny zobrazuje Tabulka 5-2.

Tabulka 5-2 - Vypočet výkonu FVE pro jednotlivé varianty

Výpočet potřebného výkonu FVE (období březen-říjen)				
	Jednotky	1.varianta	2.varianta	3.varianta
Denní spotřeba elektrické energie	[Wh]	4681	3796	2060
Ztráty MPPT regulátoru	[%]	5	5	5
Ztráty při akumulaci elektrické energie	[%]	10	10	10
Ztráty v měniči napětí	[%]	10	10	10
Ztráty v kabeláži	[%]	2	2	2
Celkové systémové ztráty	[%]	24,6	24,6	24,6
Výsledná potřeba elektrické energie	[Wh]	6207	5033	2732
Průměrná denní produkce elektrické energie z 1 Wp instalovaného výkonu	[Wh/Wp]	2,44	2,44	2,44
Potřebný výkon FVE	[Wp]	2544	2063	1120

Nyní je potřeba specifikovat konkrétní typy použitých fotovoltaických panelů. Již dříve byla zjištěna skutečnost, že z hlediska ceny za 1 Wp instalovaného výkonu vycházejí nejvýhodněji amorfní a polykrystalické fotovoltaické panely. Z důvodu záboru co nejmenší plochy bude použito polykrystalických fotovoltaických panelů značky Yingli z výrobní série YGE 48 Cell a YGE 60 Cell, jejichž parametry obsahuje Tabulka 5-4. Naopak cenu panelů a jejich počet ukazuje Tabulka 5-3. Všechny ceny použitých modulů pocházejí z internetového obchodu <http://shop.solarpartner.cz/>.

Naddimenzování první varianty o 336 Wp vychází z potřeby zapojení tří fotovoltaických panelů v sérii, což je zapříčiněno zvoleným napětím akumulátoru 48 V. Pokud by totiž byly použity panely se špičkovým výkonem 255 Wp, musely by se zapojit po dvou v sérii v pěti paralelních větvích. Dva moduly v sérii však při vysoké okolní teplotě, typické pro letní dny, neposkytnou potřebnou hodnotu napětí pro nabíjení akumulátoru. To je dáno již zmíněným poklesem napětí naprázdno fotovoltaických článků, viz. podkapitola 5.2.2.

Tabulka 5-3 - Počet fotovoltaických panelů a jejich cena

Potřebný výkon FVE [Wp]	Špičkový výkon panelu [Wp]	Počet panelů [ks]	Cena za 1 kus bez DPH [Kč]	Celková cena bez DPH [Kč]	Celková cena včetně DPH [Kč]	Celkový instalovaný výkon FVE [Wp]
2544	240	12	3 783	45 392	54 924	2880
2063	240	9	3 909	35 182	42 570	2160
1120	190	6	3 094	18 565	22 464	1140

Tabulka 5-4 - Parametry vybraných fotovoltaických panelů [30],[35]

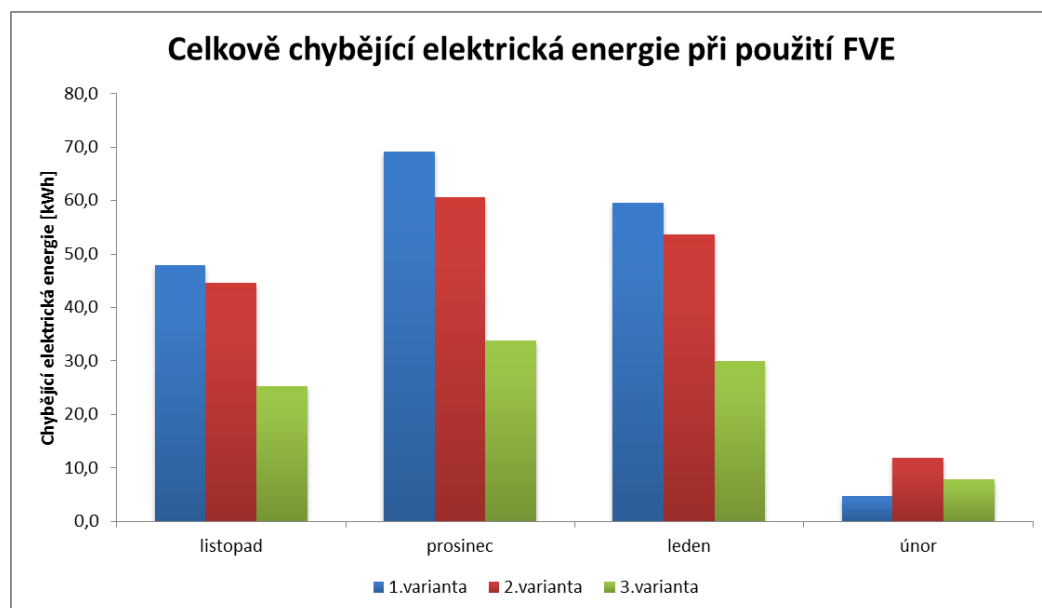
testovací metoda	parametry	jednotky	Yingli YL190P-23b	Yingli YL240P-29b	Yingli YL240P-29b
STC	P_{MPP}	[W]	190	240	240
	η	[%]	14,7	14,7	14,7
	U_{MPP}	[V]	23,7	29,5	29,5
	I_{MPP}	[A]	8	8,14	8,14
	U_{OC}	[V]	30,1	37,5	37,5
	I_{SC}	[A]	8,48	8,65	8,65
NOCT	P_{MPP}	[W]	138	174,3	174,3
	U_{MPP}	[V]	21,4	26,6	26,6
	I_{MPP}	[A]	6,45	6,56	6,56
	U_{OC}	[V]	27,5	34,2	34,2
	I_{SC}	[A]	6,87	7,01	7,01
Ostatní	$\gamma_{P_{mpp}}$	[%/°C]	-0,45	-0,45	-0,45
	$\beta_{U_{oc}}$	[%/°C]	-0,33	-0,33	-0,33
	$\alpha_{I_{sc}}$	[%/°C]	0,06	0,06	0,06
	S	[m ²]	1,30	1,63	1,63
	Cena bez DPH	[Kč]	3094	3909	3783
	Cena včetně DPH	[Kč]	3744	4730	4577
	Cena za 1 Wp	[Kč/Wp]	19,71	19,71	19,07

Po stanovení výkonu fotovoltaické elektrárny, je nutné analyzovat energetickou bilanci takto nakonfigurovaného systému v zimních měsících, tedy v listopadu, prosinci, lednu a únoru. Ukázkou výpočtu se započtením ztrát ve výši 24,6 % pro měsíc leden zobrazuje Tabulka 5-5.

Tabulka 5-5 - Energetická bilance FVE (leden)

Energetická bilance FVE (leden)				
	Jednotky	1.varianta	2.varianta	3.varianta
Instalovaný výkon FVE	[Wp]	2880	2160	1140
Průměrná denní produkce elektrické energie z 1 Wp instalovaného výkonu	[Wh/Wp]	1,27	1,27	1,27
Průměrná denní produkce elektrické energie po odečtení ztrát	[Wh]	2758	2069	1092
Průměrná denní spotřeba elektrické energie	[Wh]	4681	3796	2060
Chybějící elektrická energie	[Wh]	1923	1727	968
Celkově chybějící elektrická energie v daném měsíci	[kWh]	59,60	53,54	30,01

Obrázek 5-8 přehledně znázorňuje vypočtený nedostatek elektrické energie v jednotlivých zimních měsících.



Obrázek 5-8 - Celkově chybějící elektrická energie v jednotlivých měsících

Z hlediska nedostatku elektrické energie vycházejí nejkritičtěji měsíce prosinec a leden, což odpovídá již dříve zjištěným údajům. Z vypočtených hodnot se dále bude vycházet při dimenzování záložního zdroje elektrické energie.

5.4 MPPT regulátor

K regulaci výkonu fotovoltaických panelů je nutné zařadit do systému MPPT regulátor, který se stará o to, aby fotovoltaické panely pracovaly v bodě svého maximálního výkonu. Díky tomu dosahují MPPT regulátory vyšší účinnosti než klasické solární regulátory. Mezi jeho další úkoly patří rovněž nabíjení akumulátorů.

Výběr regulátoru se odvíjí od instalovaného výkonu fotovoltaického pole, od způsobu propojení samotných solárních panelů a od typu podporovaných akumulátorů. Proto je nutné být při jeho výběru obezřetný.



Obrázek 5-9 - Solární regulátor MorningStar Tristar MPPT-45 [36]

Kvalitní MPPT regulátory dokáží pracovat v součinnosti s fotovoltaickým systémem, jehož napětí naprázdno nepřekračuje 150 V, některé dokážou operovat i s napětím vyšším. Vezme-li se v úvahu napětí naprázdno panelů Yingli YL240P-29b, jež činí 37,5 V, je vidět, že lze do série zapojit maximálně 3 kusy těchto panelů. Napětí naprázdno poté v součtu dosahuje hodnoty 112,5 V. Je to méně než avizovaných 150 V, které zvládne regulátor, ale jak již bylo uvedeno v podkapitole 5.2.2, s klesající teplotou roste u panelů jejich napětí naprázdno. Teplotní koeficient β_{U0C} tohoto typu panelu činí $-0,33 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$. V zimním období, kdy venkovní teploty v dané lokalitě klesají až k $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, tak může napětí naprázdno panelu oproti testovací

teplotě 25 °C vzrůst až o 14,85 %. To znamená nárůst napětí naprázdno jednoho modulu na 42,45 V, při zapojení trojice modulů do série tedy 129,2 V. Pokud by byla zapojena do série čtveřice panelů, vyšplhalo by se jejich napětí naprázdno až na 172,3 V, a to není přípustné.

Dále je nutné také sledovat maximální hodnotu proudu nakrátko paralelně zapojených panelů a možnosti nastavení nabíjecího cyklu tak, aby byla možná jeho konfigurace z hlediska použití lithiových akumulátorů.

Nyní již tedy lze přistoupit k výběru MPPT regulátoru pro jednotlivé návrhové varianty. Shrnutí o počtu a druhu fotovoltaických panelů podávají Tabulka 5-3 a Tabulka 5-4.

5.4.1 První návrhová varianta

V první variantě je použito 12 kusů fotovoltaických panelů Yingli YL240P-29b, jež budou zapojeny po třech v sérii ve čtyřech řadách. Výpočet maximální hodnoty napětí naprázdno U_{OC-max} pro teplotu $t_{min} = -20$ °C a maximálního proudu nakrátko I_{SC-max} uvádí Tabulka 5-6.

Tabulka 5-6 - Výpočet U_{OC-max} , I_{SC-max}

parametry	jednotky	Yingli YL240P-29b
U_{OC}	[V]	37,5
I_{SC}	[A]	8,65
$\beta_{U_{OC}}$	[%/°C]	-0,33
t_{min}	[°C]	-20
n_s	[ks]	3
n_p	[ks]	4
U_{OC-max}	[V]	129,21
I_{SC-max}	[A]	34,60

Vzhledem k vypočteným hodnotám byl vybrán regulátor MorningStar Tristar MPPT-60, jenž podporuje připojení fotovoltaických panelů s napětím naprázdno do 150 V a proudem nakrátko do 48 A. Rovněž disponuje nastavitelnou charakteristikou nabíjení a je tedy vhodný pro ukládání energie do LiFePO₄ akumulátorů. Jeho technické parametry zobrazuje Tabulka 5-7. Cena tohoto regulátoru činí 14 015,4 Kč (<http://www.obchodsolar.cz>).

Tabulka 5-7 - Technické parametry regulátoru MorningStar Tristar MPPT-60 [37]

MorningStar Tristar MPPT-60			
Maximální nabíjecí proud		[A]	60
Maximální výkon fotovoltaického systému	12 V	[W]	800
	24 V	[W]	1600
	48 V	[W]	3200
Maximální účinnost		[%]	99
Maximální napětí naprázdno		[V]	150
Maximální proud nakrátko		[A]	48
Pracovní rozsah napětí akumulátoru		[V]	8-72
Maximální vlastní spotřeba		[W]	2,7
Nastavení nabíjecího cyklu		[-]	ano
Rozsah provozních teplot		[°C]	-40/+45
Hmotnost		[kg]	4,2

5.4.2 Druhá návrhová varianta

V této variantě figuruje devět solárních panelů Yingli YL240P-29b, jež jsou zapojeny po třech v sérii a ve třech větvích. Opět následuje výpočet maximálních hodnot napětí naprázdno a proudu nakrátko.

Tabulka 5-8 - Výpočet U_{OC-max} , I_{SC-max}

parametry	jednotky	Yingli YL240P-29b
U_{OC}	[V]	37,5
I_{SC}	[A]	8,65
$\beta_{U_{OC}}$	[%/°C]	-0,33
t_{min}	[°C]	-20
n_s	[ks]	3
n_p	[ks]	3
U_{OC-max}	[V]	129,21
I_{SC-max}	[A]	25,95

Pro tuto variantu byl zvolen regulátor MorningStar Tristar MPPT-45, k němuž lze připojit panely s celkovým napětím naprázdno až 150 V a proudem nakrátko 36 A. Rovněž disponuje nastavitelným nabíjecím cyklem. Český prodejce nabízí tento produkt za 11 700 Kč (<http://www.obchodsolar.cz>).

Tabulka 5-9 - Technické parametry regulátoru MorningStar Tristar MPPT-45 [37]

MorningStar Tristar MPPT-45			
Maximální nabíjecí proud		[A]	45
Maximální výkon fotovoltaického systému	12 V	[W]	600
	24 V	[W]	1200
	48 V	[W]	2400
Maximální účinnost		[%]	99
Maximální napětí naprázdno		[V]	150
Maximální proud nakrátko		[A]	36
Pracovní rozsah napětí akumulátoru		[V]	8-72
Maximální vlastní spotřeba		[W]	2,7
Nastavení nabíjecího cyklu		[-]	ano
Rozsah provozních teplot		[°C]	-40/+45
Hmotnost		[kg]	4,2

5.4.3 Třetí návrhová varianta

Součástí této varianty je šestice fotovoltaických panelů Yingli YL190P-23b, které budou zapojeny po třech v sérii, ve dvou větvích. To značí celkové napětí naprázdno 90,3 V a proud nakrátko 16,96 A. Při teplotě -20 °C stoupne napětí naprázdno panelů na 103,7 V.

Stejně jako ve druhé variantě i zde je zvolen regulátor MorningStar Tristar MPPT-45, jehož parametry zobrazuje Tabulka 5-9.

5.5 Výběr doplňkového zdroje elektrické energie

Vzhledem k umístění objektu je možné v dané lokalitě využít jako doplňkového zdroje elektrické energie:

- větrné mikroelektrárny
- elektrocentrály

Při výběru doplňkového zdroje napájení objektu budou nejprve zhodnoceny předpokládané energetické zisky větrné mikroelektrárny.



Obrázek 5-10 - Aeolos-H 1kW [39]

5.5.1 Větrná elektrárna

Jelikož celoroční průměrná rychlost větru v 6,5 metrech nad zemským povrchem činí dle měření v dané lokalitě pouhých 2,66 m/s, je nutné zvolit větrný generátor s nízkou rozběhovou rychlostí. K tomuto účelu dobře poslouží větrné mikroelektrárny. Tabulka 5-10 zobrazuje dva typy turbín od společnosti Aeolos Wind Energy Co., Ltd. s jejich technickými parametry. Všechny údaje byly přebrány z brožur zaslaných výrobcem během vzájemné komunikace. Běžně dostupné tyto materiály na internetu nejsou.

Tabulka 5-10 - Srovnání parametrů větrných mikroturbín [38],[39]

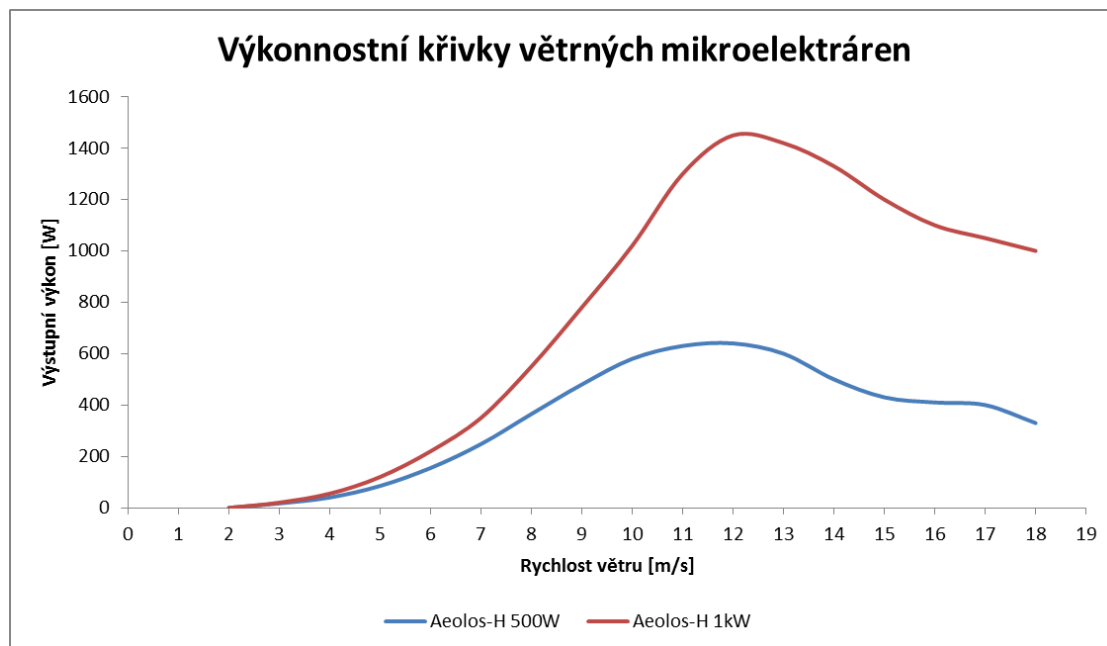
Aeolos-H 500W			Aeolos-H 1000W		
Parametry turbíny			Parametry turbíny		
Jmenovitý výkon	[W]	500	Jmenovitý výkon	[W]	1000
Rozběhová rychlost	[m/s]	2	Rozběhová rychlost	[m/s]	2,5
Maximální rychlost	[m/s]	18	Maximální rychlost	[m/s]	25
Maximální bezpečná rychlost	[m/s]	55	Maximální bezpečná rychlost	[m/s]	45
Životnost	[rok]	25	Životnost	[rok]	25
Hmotnost	[kg]	27	Hmotnost	[kg]	60
Parametry rotoru			Parametry rotoru		
Průměr	[m]	2,7	Průměr	[m]	3,2
Plocha pokrytí	[m ²]	5,7	Plocha pokrytí	[m ²]	8,0
Otáčky	[ot./s]	470	Otáčky	[ot./s]	350
Materiál lopatek	-	PA 66	Materiál lopatek	-	Skelné vlákno
Parametry generátoru			Parametry generátoru		
Frekvence	[Hz]	50/60	Frekvence	[Hz]	50/60
Napětí (stejnoseměrné)	[V]	24	Napětí (stejnoseměrné)	[V]	48
Typ	[-]	S permanentními magnety	Typ	[-]	S permanentními magnety
Účinnost	[%]	>85	Účinnost	[%]	>96
Brzdňý systém	[-]	elektronický	Brzdňý systém	[-]	elektronický
Parametry stožáru			Parametry stožáru		
Délka	[m]	9	Délka	[m]	9

Výkonnostní parametry obou elektráren při různých rychlostech větru uvádí Tabulka 5-11.

Tabulka 5-11 - Výkonnostní parametry větrných mikroturbín [38],[39]

Výkonnostní parametry větrných mikroelektráren Aeolos-H 500W a Aeolos-H 1kW										
Typ	rychlost větru [m/s]	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aeolos-H 500W	výstupní výkon [W]	0	17	40	85	155	248	365	480	580
Aeolos-H 1kW	výstupní výkon [W]	0	20	55	120	220	350	550	780	1020

Kompletní výkonnostní křivky obou mikroelektráren až do rychlosti, kdy jsou obě elektrárny zabrzděny, tedy do rychlosti větru 18 m/s ukazuje Obrázek 5-11.



Obrázek 5-11 - Výkonnostní křivky větrných mikroturbin [38],[39]

Nyní se dostáváme k predikci výstupního výkonu obou mikroelektráren, která vychází z hodnot celoročního měření a výkonnostních křivek turbin. Předpokládané systémové ztráty činí stejně jako u fotovoltaické elektrárny 24,6 %.

Tabulka 5-12 - Predikce výkonu větrných mikroelektráren

Měsíc	Vyrobena elektrická energie* [kWh]	Vyrobena elektrická energie po odečtení ztrát* [kWh]	Vyrobena elektrická energie** [kWh]	Vyrobena elektrická energie po odečtení ztrát** [kWh]
leden	26,2	19,7	36,1	27,2
únor	18,0	13,6	25,1	18,9
březen	20,0	15,1	26,5	20,0
duben	45,0	33,9	69,8	52,6
květen	20,9	15,7	28,7	21,7
červen	14,9	11,2	19,8	14,9
červenec	13,4	10,1	17,3	13,0
srpen	9,3	7,0	11,5	8,7
září	10,9	8,2	14,6	11,0
říjen	11,7	8,8	14,9	11,2
listopad	40,8	30,8	66,9	50,5
prosinec	32,8	24,7	47,1	35,5
celkem	263,8	199,0	378,3	285,3

* Predikce výkonu větrné elektrárny Aeolos-H 500W
 ** Predikce výkonu větrné elektrárny Aeolos-H 1kW

Z výsledků vidíme, že nejslabším zimním měsícem z pohledu energetických zisků je leden, pokud tedy nebude uvažován měsíc únor, v němž dosahuje energie ozáření téměř dvojnásobné hodnoty oproti měsíci lednu, díky čemuž můžeme očekávat vyšší solární zisky, které vykompenzují nedostatek větrné energie.

Energetická bilance bytové jednotky pro jednotlivé zkoumané varianty spotřeby elektrické energie s uvažováním systémových ztrát ve výši 24,6 % je k vidění v tabulce níže.

Tabulka 5-13 - Energetická bilance objektu při použití větrné mikroelektrárny

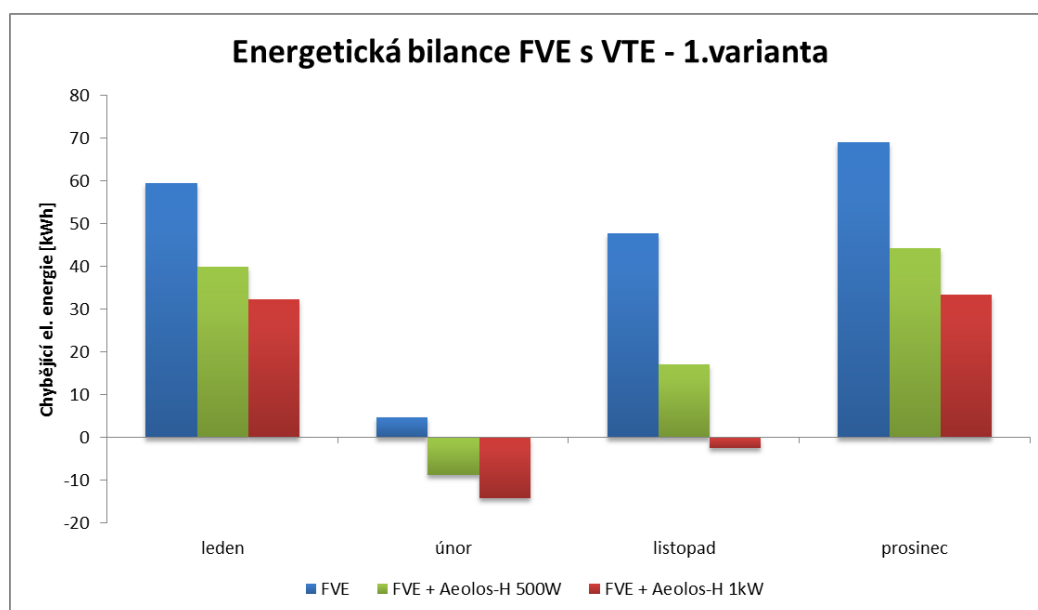
	jednotky	1.varianta				2.varianta				3.varianta			
		leden	únor	listopad	prosinec	leden	únor	listopad	prosinec	leden	únor	listopad	prosinec
Měsíční spotřeba elektrické energie	[kWh]	145,11	135,75	140,43	145,11	117,68	110,08	113,88	117,68	63,86	59,74	61,80	63,86
Elektrická energie vyrobená fotovoltaickým systémem po odečtení ztrát	[kWh]	85,51	131,01	92,52	76,08	64,13	98,25	69,39	57,06	33,85	51,86	36,62	30,11
Celkově chybějící elektrická energie v daném měsíci	[kWh]	59,61	4,74	47,91	69,03	53,55	11,83	44,49	60,62	30,01	7,88	25,18	33,75
Predikce výkonu větrné mikroelektrárny Aeolos-H 500W	[kWh]	19,72	13,57	30,77	24,75	19,72	13,57	30,77	24,75	19,72	13,57	30,77	24,75
Celkově chybějící elektrická energie v daném měsíci při použití FVE a Aeolos-H 500W	[kWh]	39,89	-8,83	17,14	44,28	33,83	-1,74	13,72	35,87	10,29	-5,69	-5,59	9,00
Predikce výkonu větrné mikroelektrárny Aeolos-H 1kW	[kWh]	27,22	18,94	50,45	35,51	27,22	18,94	50,45	35,51	27,22	18,94	50,45	35,51
Celkově chybějící elektrická energie v daném měsíci při použití FVE a Aeolos-H 1kW	[kWh]	32,39	-14,19	-2,54	33,52	26,33	-7,11	-5,96	25,11	2,79	-11,05	-25,27	-1,76

Pokud nyní sečteme chybějící elektrickou energii za celé zimní období v jednotlivých návrhových variantách, dojdeme k výsledkům, jež znázorňuje Tabulka 5-14.

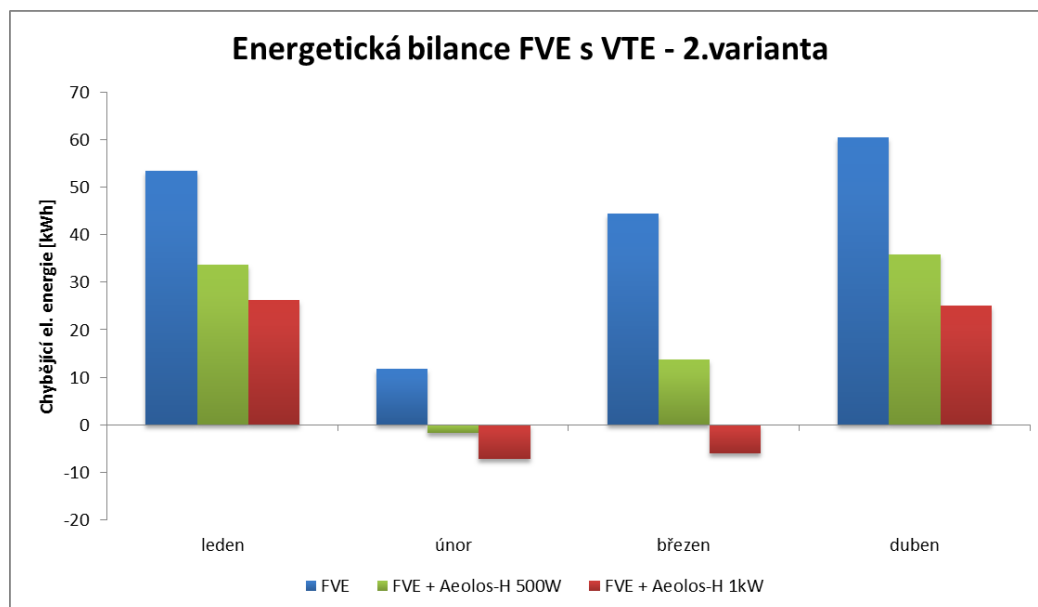
Tabulka 5-14 - Chybějící elektrická energie v zimní období

Vyhodnocení nedostatku elektrické energie v období listopad-únor				
		1.varianta	2.varianta	3.varianta
Celkově chybějící energie při použití FVE	[kWh]	181,29	170,48	96,82
Celkově chybějící energie při použití FVE a VTE (Aeolos-H 500W)	[kWh]	101,31	83,42	19,29
Celkově chybějící energie při použití FVE a VTE (Aeolos-H 1kW)	[kWh]	65,91	51,43	2,79

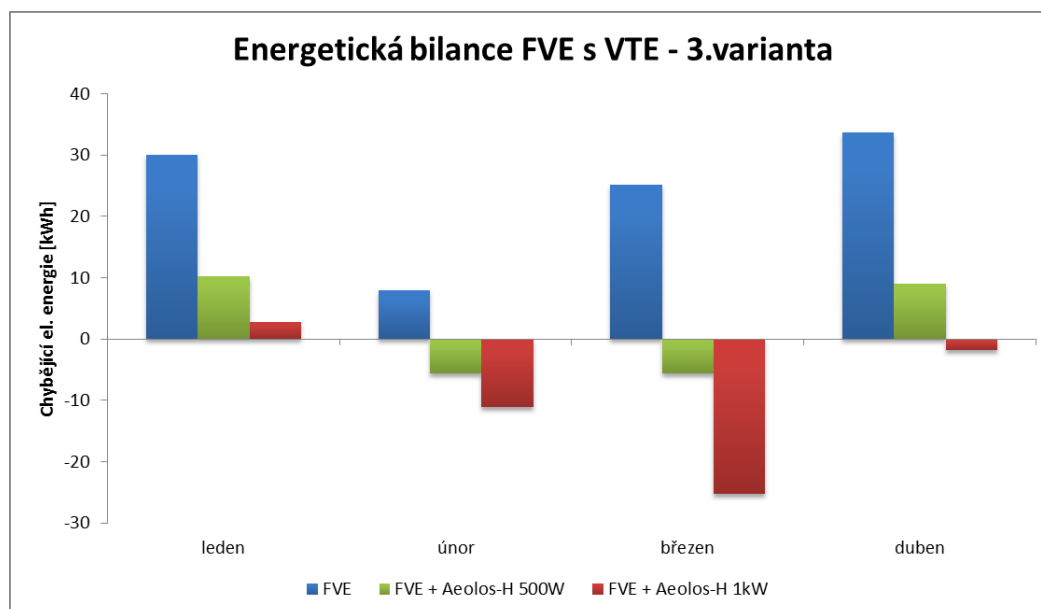
Přehledněji je rozdíl mezi oběma větrnými mikroelektrárnami pro jednotlivé návrhové varianty vidět z následujících grafů.



Obrázek 5-12 - Energetická bilance spojení FVE s VTE pro první návrhovou variantu



Obrázek 5-13 - Energetická bilance spojení FVE s VTE pro druhou návrhovou variantu



Obrázek 5-14 - Energetická bilance spojení FVE s VTE pro třetí návrhovou variantu

Z trojice předcházejících grafů je zřejmé, že zřetelný rozdíl mezi oběma větrnými mikroelektrárnami nastává pouze v měsíci listopadu, kdy vane silnější vítr, čehož dokáže výkonově silnější turbína náležitě využít. V dalších měsících výkonový rozdíl mezi oběma typy klesá.

Cenový rozdíl obou větrných generátorů ovšem není zanedbatelný. Dle korespondence s výrobcem těchto turbín, přijde výkonově slabší varianta na 566 \$, silnější poté na 1586 \$, což je téměř třikrát víc. V tom samozřejmě není započítána cena stožáru, regulátoru, dopravného a ani celního dluhu, který se skládá ze samotného cla, daně z přidané hodnoty a dalších poplatků vyměřovaných při dovozu zboží. Nejlevnější prodejce v České republice tak nabízí pouze větrnou mikroturbínu (bez stožáru a regulátoru) typu Aeolos-H 500W za 26 136 Kč (<http://www.energyforever.cz>).

Z uvedeného vyplývá, že kombinace větrné mikroelektrárny s fotovoltaickými panely zcela nepokryje potřebu elektrické energie v zimním období ani v jedné návrhové variantě. Jako s doplňkovým zdrojem elektrické energie by se s ní dalo počítat pouze v případě naddimenzování samotného fotovoltaického systému, avšak i tak by vzhledem k proměnlivosti počasí nebyla zaručena kontinuální dodávka elektrické energie. Vzhledem k vysoké ceně, která u výkonově slabšího typu téměř odpovídá pořizovací ceně kvalitní plynové elektrocentrály, tak nelze doporučit použití větrné mikroelektrárny v dané aplikaci.

5.5.2 Elektrocentrála

Nevýhodou fotovoltaických a větrných elektráren je jejich závislost na aktuálních meteorologických podmínkách, které se lokálně a hlavně z dlouhodobého hlediska velmi těžko předvídají. Jak se ukázalo v předcházející podkapitole, ani takovéto spojení obou technologií nedokáže zcela pokrýt spotřebu elektrické energie zkoumaného objektu v zimním období. Pokud tedy nebude uvažováno celkové naddimenzování hybridního ostrovního systému. Proto je nutností použití elektrocentrály, jakožto doplňkového zdroje elektrické energie.



Obrázek 5-15 - Elektrocentrála Heron [40]

Výběr elektrocentrály závisí na několika faktorech. Prvním je rozhodnutí, zda se bude elektrocentrála používat jen k nabíjení akumulátorů, nebo bude v případě nedostatku elektrické energie použita i pro napájení domácích spotřebičů. V takovém případě je nutné dimenzovat její výstupní výkon dle předpokládaného souběžného příkonu daných spotřebičů. Není však nutné jej naddimenzovat, jelikož použité měniče napětí Victron MultiPlus v případě vyššího zatížení, než které je schopna elektrocentrála uspokojit, připojí akumulátory a spojí tak jejich síly dohromady. Ideálně by však výstupní výkon elektrocentrály neměl být menší než polovina výstupního výkonu měniče.

Vzhledem k tomu, že u nemovitosti je zřízena plynová přípojka, je volba typu elektrocentrály pro první dvě návrhové varianty jednoduchá. Zvolena byla plynová elektrocentrála, která dokáže zpracovávat jak zemní plyn, tak i LPG. V případě výpadku dodávky zemního plynu tak lze k elektrocentrále připojit klasické tlakové nádoby s LPG. Elektrocentrála rovněž na svém výstupu disponuje sinusovým napětím a lze ji použít i pro napájení citlivé elektroniky.

Cena plynové elektrocentrály Heron EGM 48E LPG-NG-1F o jmenovitém výkonu 4,4 kW začíná na částce 28 290 Kč s DPH (<http://www.heureka.cz/>). Technické parametry elektrocentrály znázorňuje Tabulka 5-15.

Tabulka 5-15 - Technické údaje elektrocentrály Heron EGM 48E LPG-NG-1F [41]

Technické parametry	
Typové označení	Heron EGM 48E LPG-NG-1F
Chlazení	nucené, vzduchem
Max. výkon motoru	8,2kW (11HP) / 4000 min ⁻¹
Typ paliva	LPG (zkapalněný ropný plyn) / NG (G20) (zemní plyn)
Spotřeba	cca 0,32 kg / kWh (LPG) při 75% zatížení, cca 0,35 m ³ / kWh (NG) při 75% zatížení
Spouštění	elektrickým startérem, manuální
Generátor	jednofázový, synchronní
Maximální/jmenovitý výkon	4800 W/ 4400 W
Napětí/frekvence	230V / 50Hz
Jmenovitý proud	16 A
Účinník	cos φ = 1
Napětí (DC)	12 V
Jmenovitý proud (DC)	8,3 A
Třída izolace/krytí	B / IP23
Hmotnost (bez náplní)	89 kg
Rozměry	578 x 535 x 700 mm
Naměřený akustický výkon	97 dB(A)
Naměřený akustický výkon (vzdálenost 7 m)	77 dB(A)
Výstupní tlak LPG	2,8 ± 0,5 kPa (28 ± 5 mbar)
Průtok LPG	> 2,0 kg/hod.
Výstupní tlak NG (G20)	2,0 kPa (20 mbar)
Průtok NG (G20)	> 2,5 m ³ /hod.

Vyjde-li se nyní z udávané spotřeby zemního plynu elektrocentrálou při jejím 75 % vytížení a z vypočítaných hodnot nedostatku elektrické energie v jednotlivých variantách hybridního ostrovního systému, je možné spočítat cenu spotřebovaného zemního plynu.

Jelikož majitel objektu využívá služeb obchodní společnosti Východočeská plynárenská, a.s., konkrétně produktu RWE plyn Standard, bude tato skutečnost brána v potaz. Výpočet ročních nákladů na provoz elektrocentrály, dle aktuálního ceníku, v případě jejího využití výhradně k nabíjení akumulátorů zobrazuje Tabulka 5-16. Ztráty jsou zde dány koeficientem 0,729, který zahrnuje ztráty v nabíječi, akumulátorech a v měniči napětí, všechny ve výši 10 %.

Tabulka 5-16 - Cena zemního plynu v kombinaci FVE + elektrocentrála [41],[42]

Výpočet ceny zemního plynu v systému FVE + plynová elektrocentrála			
		1.varianta	2.varianta
Celkově chybějící elektrická energie při použití FVE	[kWh]	181,29	170,48
Celkově chybějící elektrická energie při použití FVE a započtení ztrát	[kWh]	248,68	233,86
Spotřeba zemního plynu elektrocentrálou	[m ³ /kWh]	0,35	0,35
Spotřeba zemního plynu v kombinaci použití elektrocentrály a FVE	[m ³]	87,04	81,85
Koeficient převodu objemu zemního plynu na kWh	[kWh/m ³]	10,55	10,55
Přepočet objemu spotřebovaného zemního plynu	[kWh]	918,27	863,53
Cena za odebraný zemní plyn s DPH	[Kč/kWh]	1,44478	1,44478
Cena spotřebovaného plynu s DPH	[Kč]	1326,69	1247,60

Pro třetí návrhovou variantu není nutné použít elektrocentrálu s tak vysokým výstupním výkonem jako je tomu u prvních dvou variant. Avšak pravidlo, že by její výstupní výkon neměl být menší, než polovina výkonu měniče napětí, musí být dodržena. Z tohoto důvodu byla zvolena plynová elektrocentrála Heron EGM 20 LPG s pořizovací cenou 12 605 Kč s DPH (<http://www.heureka.cz/>).

Výstupní výkon této elektrocentrály činí 1,8 kW, přičemž ke svému pohonu používá zkapalněný ropný plyn, neboli LPG. Technické parametry elektrocentrály zobrazuje Tabulka 5-17.

Tabulka 5-17 - Technické údaje elektrocentrály Heron EGM 20 LPG [43]

Technické parametry	
Typové označení	Heron EGM 20 LPG
Chlazení	nucené, vzduchem
Max. výkon motoru	3400 W (4,5 HP) / 4000 min ⁻¹
Typ paliva	LPG (zkapalněný ropný plyn)
Spotřeba	cca 0,34 kg/kWh při 75% zatížení
Spouštění	manuální
Generátor	jednofázový, synchronní
Maximální/jmenovitý výkon	2000 W / 1800 W
Napětí/frekvence	230V / 50Hz
Jmenovitý proud	8 A
Účinnost	cos φ = 1
Napětí (DC)	12 V
Jmenovitý proud (DC)	8,3 A
Třída izolace/krytí	B / IP23
Hmotnost (bez náplně)	44,5 kg
Rozměry	470 x 455 x 612 mm
Naměřený akustický výkon	93 dB(A)
Naměřený akustický výkon (vzdálenost 7 m)	68 dB(A)
Výstupní tlak LPG	2,8 ± 0,5 kPa (28 ± 5 mbar)
Průtok LPG	>1,1 kg/hod.

Jelikož u této elektrocentrály není možné využít jako paliva zemní plyn, je nutné počítat s použitím tlakových lahví a prostorem pro ně určeným. Do jaké výše se vyšplhají roční provozní náklady ve třetí návrhové variantě, znázorňuje Tabulka 5-18. Cena jednoho kilogramu plynu vychází z ceny láhve plněné 33 kilogramy LPG, jejíž cena činí 900 Kč.

Tabulka 5-18 - Cena LPG v kombinaci FVE + elektrocentrála

Výpočet ceny LPG v systému FVE + plynová elektrocentrála		
		3.varianta
Celkově chybějící elektrická energie při použití FVE	[kWh]	96,82
Celkově chybějící elektrická energie při použití FVE a započtení ztrát	[kWh]	132,81
Spotřeba LPG elektrocentrálou	[kg/kWh]	0,34
Spotřeba LPG v kombinaci použití elektrocentrály a FVE	[kg]	45,16
Cena kilogramu LPG s DPH	[Kč/kg]	27,27
Cena spotřebovaného LPG s DPH	[Kč]	1231,54

5.6 Měníč napětí

Velmi důležitou součástí hybridního ostrovního systému je měnič napětí, primárně sloužící k přeměně stejnosměrného napětí na napětí střídavé. Rozlišujeme přitom střídače, na jejichž výstupu registrujeme čistě sinusový průběh napětí a střídače s modifikovaným sinusovým průběhem napětí. První typ je vhodný pro napájení prakticky jakýchkoliv spotřebičů, včetně citlivé elektroniky, která může mít s modifikovaným průběhem napětí problémy. Z tohoto důvodu bude v hybridním ostrovním provozu použit střídač s čistým sinusovým výstupním napětím.

Dále je možné volit mezi klasickým střídačem a kombinací střídače s integrovanou nabíječkou. Jelikož bude ve všech návrhových variantách použita plynová elektrocentrála, je příhodné zvolit kombinaci střídače s nabíječkou. Rovněž je nutné zohlednit fakt, že k uložení vyrobené elektrické budou použity lithium-železo-fosfátové akumulátory. Nemnoho nabíječek totiž tento typ akumulátorů podporuje.

Tabulka 5-19 obsahuje přehled spotřebičů a jejich příkonů obsažených v první návrhové variantě. Červeným písmem jsou označeny odhadované hodnoty. Měření maximálního příkonu proběhlo za pomoci přístroje FK 6211, kterým byla změřena i spotřeba elektrické energie jednotlivých spotřebičů.

Tabulka 5-19 - Příkon spotřebičů v první návrhové variantě

Spotřebič	Výrobce	Typ	Jmenovitý příkon [W]	Naměřený max. příkon [W]
Elektrická trouba	Fagor	6H-175B	2670	2181,0
Pračka	Amica	AWSN 10DA	2300	2041,0
Rychlovarná konvice	Eta	2580	2200	1928,4
Žehlička	Ferratte Concept	ZN 8008	2000	1815,4
Mikrovlnná trouba	LG	MH6339B/00	2250	1323,9
Horkovzdušný fén	Sencor	SHS 7551VT	1000	959,4
Kombinovaná chladnička	Amica	ACZ 320iM	120	516,1/112,0
Plynový kotel	Protherm	LEV 30KKZ	150	134,9/98,0
Televizor	LG	32LE4500-ZA	130	95,8
Televizor	LG	32LE4500-ZA	130	95,8
Notebook	Acer	3820TG	90	49,0
Pokožová anténa	Philips	SDV6120/10	2	2,0
Pokožová anténa	Philips	SDV6120/11	2	2,0
Osvětlení	-	-	1277	-
		Součet [W]	5362	4466,2

Jedinými spotřebiči, jejichž provoz je nezávislý na obsluze, jsou kombinovaná chladnička a plynový kondenzační kotel. Dohromady jejich naměřený špičkový příkon činí 651 W, což je však dáno rozběhovými proudy oběhového čerpadla a kompresoru. Běžně se jejich příkon pohybuje okolo 112 W u kombinované chladničky a okolo 98 W u kondenzačního plynového kotle, dohromady 210 W. Ve výpočtu jsou tedy uvažovány tyto hodnoty příkonu.

V minimalistické variantě by měl vybraný měnič být schopen poskytnout výkon pro jeden velký spotřebič se jmenovitým příkonem vyšším než 2000 W, dále jeden televizor s pokojovou anténou, notebook, lednici a plynový kotel. Uvažována však bude varianta spuštění dvou

spotřebičů s příkonem vyšším než 2000 W, tedy například rychlovarné konvice a elektrické trouby. Součet jejich jmenovitých příkonů činí 5362 W, v naměřených hodnotách pak 4466,2 W. Z toho plyne závěr, že je nutné zvolit měnič napětí, jehož výstupní výkon činí alespoň 4500 W.

Výše uvedeným požadavkům vyhovují výrobky společnosti Victron Energy B. V., konkrétně střídače/nabíječe řady MultiPlus se jmenovitým zdánlivým výkonem v rozsahu 800 - 5000 kVA. Mezi jejich přednosti patří podpora lithiových akumulátorů, možnost záložního napájení ze sítě i generátoru, a integrovaná nabíječka akumulátorů.

Pro první a druhou návrhovou variantu, které se mezi sebou liší pouze snížením instalovaného příkonu světelných zdrojů a použitím mikrovlnné trouby, byl vybrán hybridní měnič napětí Victron MultiPlus 48/5000/70. Technické údaje zobrazuje Tabulka 5-20. Cena tohoto typu začíná na částce 72 155 Kč (<http://www.nejlevnejsiautobaterie.cz>).

Tabulka 5-20 - Parametry hybridního měniče napětí Victron MultiPlus 48/5000/70 [44]

Charakteristické údaje		
Vstupní stejnosměrné napětí	[V]	38-66
Výstupní napětí	[V]	230 ± 2 %
Výstupní frekvence	[Hz]	50 ± 0,1 %
Jmenovitý výstupní výkon při 25°C	[VA]	5000
Výstupní výkon při 25 °C	[W]	4500
Výstupní výkon při 40 °C	[W]	4000
Špičkový výstupní výkon	[W]	10000
Maximální účinnost	[%]	95
Vlastní spotřeba bez zatížení/AES mód/Search mód	[W]	25/20/6
Nabíječka		
Vstupní napětí	[V]	187-265
Vstupní frekvence	[Hz]	45-65
Nabíjecí proud akumulátoru	[A]	70
Nastavení parametrů nabíjení	[-]	ano
Další údaje		
Rozsah pracovních teplot	[°C]	-40/+50
Rozměry	[mm]	444x328x240
Hmotnost	[kg]	30

Třetí návrhová varianta je charakteristická omezením spotřebičů s velkým příkonem. Jediným výkonově náročným spotřebičem tak zůstává pračka se jmenovitým příkonem topného tělesa 2300 W. Vzhledem k výběru úsporných spotřebičů nejsou k dispozici naměřené hodnoty jejich maximálních příkonů, proto bude u kombinované chladničky Bosch KDE33AL40 brána jako výchozí hodnota naměřeného příkonu chladničky Amica ACZ 320iM.

Tabulka 5-21 opět znázorňuje konfiguraci spotřebičů pro správný výběr měniče napětí. Červeným písmem jsou označeny odhadované hodnoty. Vzhledem k běžným zvyklostem nebude uvažováno současné sepnutí pračky, žehličky a horkovzdušného fěnu.

Tabulka 5-21 - Příkon spotřebičů ve třetí návrhové variantě

Spotřebič	Výrobce	Typ	Jmenovitý příkon [W]	Naměřený max. příkon [W]
Pračka	Whirlpool	AWOE 8914	2300	2200,0
Žehlička	Ferratte Concept	ZN 8008	2000	1815,4
Horkovzdušný fén	Sencor	SHS 7551VT	1000	959,4
Kombinovaná chladnička	Bosch	KDE33AL40	120	516,1/112,0
Plynový kotel	Protherm	LEV 30KKZ	150	134,9/98,0
Televizor	Panasonic	TX-L32E5E	69	30,0
Televizor	Panasonic	TX-L32E5E	69	30,0
Notebook	Acer	3820TG	90	49,0
Pokožová anténa	Philips	SDV6120/10	2	2,0
Pokožová anténa	Philips	SDV6120/11	2	2,0
Osvětlení	-	-	197	-
		Součet [W]	2731	2491,0

Pro třetí návrhovou variantu byl vybrán hybridní měnič napětí Victron MultiPlus 48/3000/35, jehož technické parametry obsahuje Tabulka 5-22. Cena tohoto typu začíná na částce 43 297 Kč (<http://www.nejlevnejsiautobaterie.cz>).

Tabulka 5-22 - Parametry hybridního měniče napětí Victron MultiPlus 48/3000/35 [44]

Charakteristické údaje		
Vstupní stejnosměrné napětí	[V]	38-66
Výstupní napětí	[V]	230 ± 2 %
Výstupní frekvence	[Hz]	50 ± 0,1 %
Jmenovitý výstupní výkon při 25°C	[VA]	3000
Výstupní výkon při 25 °C	[W]	2500
Výstupní výkon při 40 °C	[W]	2200
Špičkový výstupní výkon	[W]	6000
Maximální účinnost	[%]	95
Vlastní spotřeba bez zatížení/AES mód/Search mód	[W]	16/12/5
Nabíječka		
Vstupní napětí	[V]	187-265
Vstupní frekvence	[Hz]	45-65
Nabíjecí proud akumulátoru	[A]	35
Nastavení parametrů nabíjení	[-]	ano
Další údaje		
Rozsah pracovních teplot	[°C]	-40/+50
Rozměry	[mm]	362x258x218
Hmotnost	[kg]	18

5.7 Výběr akumulátorů

Dostupnost sluneční energie se v průběhu dne, ale i celého roku výrazně mění. Vše závisí na okamžitém stavu počasí, na postavení Země vůči Slunci a také na otáčení Země kolem vlastní osy, čehož je důsledkem střídání dne a noci. Z důvodu zachování komfortu bydlení je tedy nutné již vyrobenou elektrickou energii uskladnit na horší časy. K tomu se již od roku 1859 používají elektrochemické zdroje energie. Ve zmíněném roce totiž francouzský fyzik Gaston Planté sestrojil první článek ze dvou olověných desek oddělených plátěným separátorem, které byly ponořeny do roztoku kyseliny sírové. [45] Od té doby došlo k značnému vývoji olověných článků spolu s patentováním mnoha dalších technologií vhodných k chemické akumulaci energie.

5.7.1 Olověné akumulátory

Olověné akumulátory patří v současnosti k bezkonkurenčně nejrozšířenějším akumulátorům, jež můžeme spatřit v solárních ostrovních aplikacích. Hlavním důvodem jejich popularity je především jejich poměrně nízká cena. Dále lze zmínit také jejich dobrou účinnost, ověřenou technologií výroby a provozní spolehlivost.

V převážné většině se dnes v ostrovních provozech používá upravených trakčních a staničních akumulátorů, které jsou uzpůsobeny náročnému cyklickému provozu. Z hlediska údržby je lze dále rozdělit na údržbové se zaplavenými elektrodami a akumulátory bezúdržbové řízené ventilem.

Akumulátory se zaplavenými elektrodami

Jak již plyne z názvu, jedná se o akumulátory s elektrodami ponořenými do elektrolytu. Nad elektrodami je tzv. plnicí a plynovací prostor, ve kterém se při provozu baterie pohybuje hladina elektrolytu a také plyny vznikající při elektrolýze vody. Aby mohly vznikající plyny unikát, je nádoba opatřena zátkami.

Jelikož je elektrolyt v nádobě tvořen vodou zředěnou kyselinou sírovou H_2SO_4 , dochází jak k přirozenému odpařování vody, tak i k již zmiňované elektrolýze, kdy se molekuly vody štěpí na kyslík a vodík. Tyto plyny tvoří výbušnou směs, a proto by tento typ akumulátorů měl být umístěn jen v dobře větraných prostorech. Údržba těchto akumulátorů tedy spočívá v nutnosti doplňování vody tak, aby hladina elektrolytu neklesla pod horní okraj elektrod, což by vedlo k jejich poškození.

Speciálně pro akumulaci energie z fotovoltaických systémů se používají solární baterie OPzS s kladnými trubkovými elektrodami, jež jsou velmi rozšířené mezi staničními i trakčními akumulátory. Tento typ baterií je určen pro náročné cyklické provozy, vyrábí se od malých až po opravdu velké kapacity a dosahuje dlouhé životnosti.

Akumulátory řízené ventilem

Označují se anglickou zkratkou VRLA, nebo též českými názvy hermetizované a rekombinační. Na rozdíl od akumulátorů se zaplavenými elektrodami neobsahují elektrolyt v kapalném skupenství, takže mohou pracovat v libovolné pozici. Jejich další výhodou tkví v použití ventilů, které zabraňují únikům aerosolů kyseliny sírové a udržují v člancích přetlak. Navíc se díky minimalizované elektrolýze vody neklade takový důraz na větrání prostor, v kterých jsou umístěné.

Pro solární ostrovní systémy se nejvíce hodí baterie OPzV, jež tvoří bezúdržbovou variantu akumulátorů OPzS. Kromě velkého rozsahu dostupných kapacit disponují také dobrou cyklickou životností. Nevýhodou je však jejich citlivost na výkyvy teplot.

5.7.2 Lithiové akumulátory

Možnou náhradou olověných akumulátorů by se mohly v brzké době stát lithiové baterie, hlavně jejich nová generace s katodou z materiálu LiFePO_4 , která byla v roce 1996 patentována týmem okolo profesora Johna Goodenougha z Texaské univerzity. Tento tým ve své době řešil problémy starších typů lithiových baterií s katodou z kobaltu či manganu jako je jejich malá životnost, bezpečnost a nízký stupeň jejich možného vybití.

Technologie LiFePO_4 má prakticky samé klady: nízké výrobní náklady, netoxické materiály (splňuje RoHS), využití všude dostupného železa namísto vzácných kovů, skvělá tepelná stabilita, výborná bezpečnost, dobrý výkon daný vysokou kapacitou 170 mAh/g a dlouhá životnost. [46]

Není tak divu, že své využití nacházejí jak v elektrických vozidlech, ručním nářadí či záložních zdrojích UPS, ale i ve fotovoltaických ostrovních systémech. Tento posun lze spatřit již i u provozovatelů českých ostrovních systémů, kteří přecházejí z olověných akumulátorů právě na lithiové s katodou LiFePO_4 .

5.7.3 Kapacita a její souvislost s životností akumulátorů

Kapacitou rozumíme schopnost akumulátoru dodávat určitou elektrickou energii po určitý časový úsek až do poklesu napětí na minimální přípustnou hodnotu. Využitelná kapacita je vždy menší než její teoretická hodnota. To je dáno jednak velikostí vybíjecího proudu a teplotou, ale také skutečností, že akumulátory není možné vybit na 100 %, jelikož by se tím neúměrně zkrátila jejich životnost.

U olověných akumulátorů dochází vlivem růstu vybíjecího proudu k většímu zatížení povrchu aktivních materiálů. Tvoří se více PbSO_4 , který ucpává póry elektrod a snižuje tak možnost jejich využití. Tím pádem klesá využitelná kapacita akumulátoru a doba, po kterou může být vybit. Tímto jevem naopak netrpí kvalitní lithiové akumulátory s katodou LiFePO_4 .

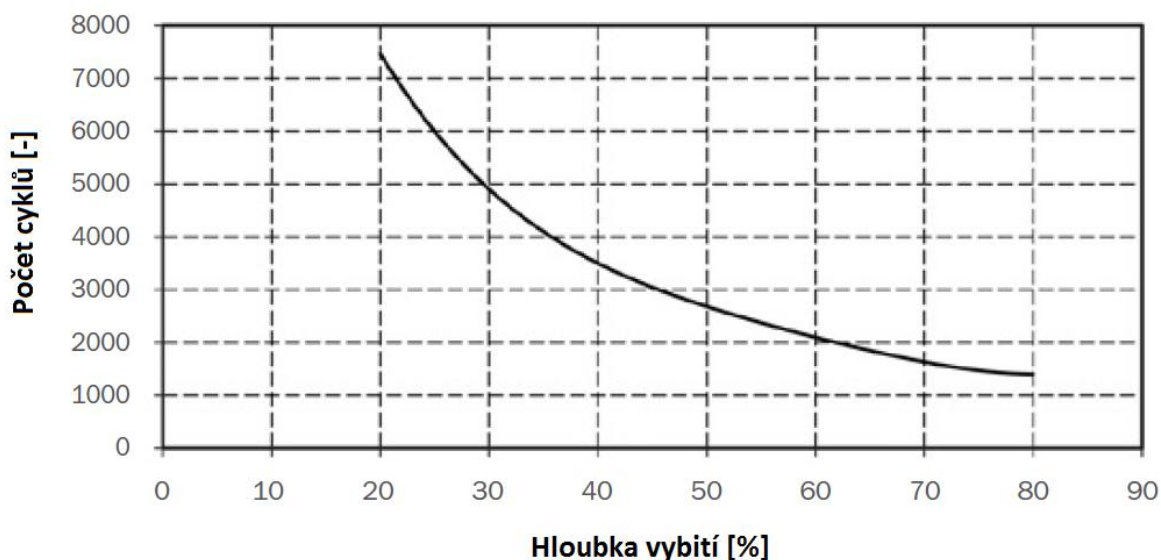
Rovněž i odchylky od ideální skladovací teploty, která činí 20 - 25 °C, vedou u olověných akumulátorů k ovlivnění jejich kapacity. Se vzrůstem teploty jejich kapacita stoupá, avšak zvyšují se ztráty samovybitím a klesá i jejich životnost. I nepatrný nárůst teploty o 10 °C může znamenat zkrácení životnosti o 50 %, k čemuž jsou obzvláště náchylné akumulátory řízené ventily. Naopak s poklesem teploty klesá i kapacita akumulátorů. Pokles však není lineární, jeho velikost úzce souvisí s velikostí vybíjecího proudu. Nesmí se také opomenout skutečnost, že při snížené teplotě nelze akumulátory plně nabít. Na teplotě je závislá i kapacita akumulátorů LiFePO_4 , ale ne tak dramaticky jako tomu je u olověných.

5.7.4 Vybraní zástupci akumulátorů

Ke srovnání byly vybrány akumulátorové baterie od renomované německé firmy Hoppecke Batterien GmbH, která se výrobou olovených článků zabývá již od roku 1927. Ve výběru lze nalézt velice kvalitní olovené akumulátory Hoppecke typu OPzS a OPzV, ale rovněž i jednoho zástupce bezúdržbových akumulátorů AGM, a to výrobek značky FG Forte. Jako protipól k oloveným bateriím byl zvolen lithiový akumulátor od čínské společnosti Winston Battery Ltd., jenž je dostupný i v České republice.

Hoppecke 12V 3 OPzS bloc solar.power 200

Tento olovený akumulátor disponuje kladnými trubkovými elektrodami zaplavenými elektrolytem a jedná se tedy o údržbový akumulátor. Díky použitému druhu elektrod dosahuje akumulátor životnosti až 1500 cyklů při 80% hloubce vybití.




Obrázek 5-16 - Životnost akumulátoru Hoppecke 12V 3 OPzS bloc solar.power 200 [47]

V tabulce níže lze nalézt základní údaje o akumulátoru:

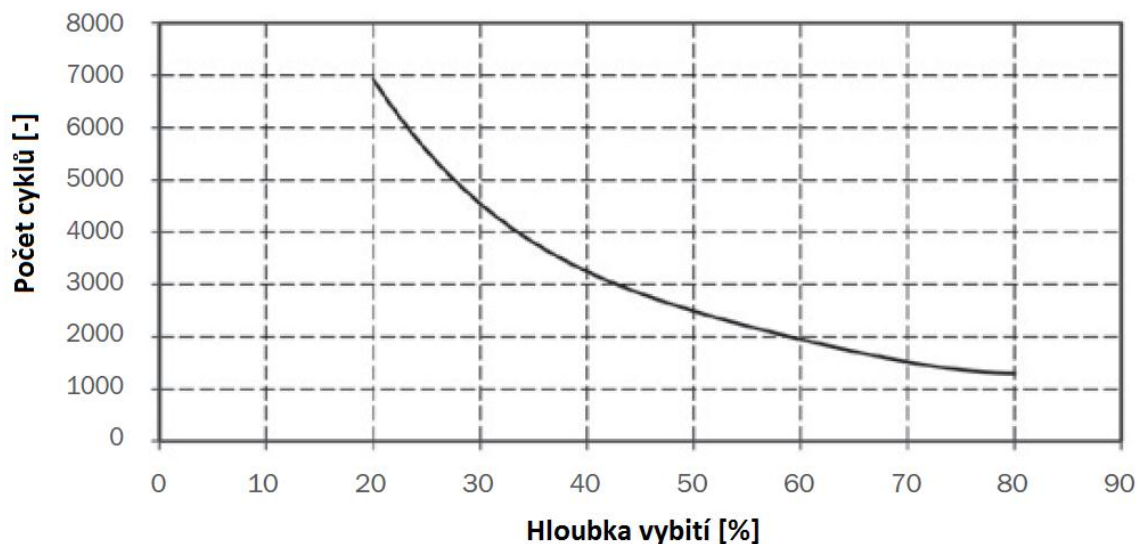
Tabulka 5-23 - Parametry akumulátoru Hoppecke 12V 3 OPzS bloc solar.power 200 [47]

Hoppecke 12V 3 OPzS bloc solar.power 200		
Kapacita C_{100}	[Ah]	200
Kapacita C_{24}	[Ah]	180
Kapacita C_{10}	[Ah]	151
Kapacita C_5	[Ah]	132
Konečné vybíjecí napětí při C_{100}	[V]	1,85
Konečné vybíjecí napětí při C_{24}	[V]	1,83
Konečné vybíjecí napětí při C_{10}	[V]	1,80
Konečné vybíjecí napětí při C_5	[V]	1,77
Hmotnost	[kg]	68,0



Hoppecke 12V 3 OPzV bloc solar.power 180

Baterie typu OPzV jsou plněné elektrolytem v podobě gelu, tudíž se jedná o baterie bezúdržbové. Jejich životnost se při 80% hloubce vybití pohybuje na hranici 1400 cyklů.



Obrázek 5-17- Životnost akumulátoru Hoppecke 12V 3 OPzV bloc solar.power 180 [48]

V tabulce níže lze nalézt základní údaje o akumulátoru:

Tabulka 5-24 - Parametry akumulátoru Hoppecke 12V 3 OPzV bloc solar.power 180 [48]

Hoppecke 12V 3 OPzV bloc solar.power 180		
Kapacita C ₁₀₀	[Ah]	200
Kapacita C ₂₄	[Ah]	175
Kapacita C ₁₀	[Ah]	154
Kapacita C ₅	[Ah]	136
Konečné vybíjecí napětí při C ₁₀₀	[V]	1,85
Konečné vybíjecí napětí při C ₂₄	[V]	1,83
Konečné vybíjecí napětí při C ₁₀	[V]	1,80
Konečné vybíjecí napětí při C ₅	[V]	1,77
Hmotnost	[kg]	75,5




FG Forte FG12-150D 12V

Pro srovnání se speciálními typy olovených akumulátorů typu OPzS a OPzV byl vybrán akumulátor značky FG Forte. Jedná se o zástupce bezúdržbových akumulátorů typu AGM. Jeho životnost se samozřejmě pohybuje v jiných rovinách než u již zmíněných baterií Hoppecke. Cyklická odolnost akumulátoru se pohybuje na hranici 800 cyklů při 50 % hloubce vybití a 500 cyklů při hloubce vybití 80 %.

V tabulce níže lze nalézt základní údaje o akumulátoru:

Tabulka 5-25 - Parametry akumulátoru FG Forte FG12-150D 12V [49]

FG Forte FG12-150D 12V		
Kapacita C_{10}	[Ah]	150
Hmotnost	[kg]	45,0



Winston WB-LYP160AHA


Jedná se o lithiový článek se jmenovitým napětím 3,2 V a s katodou LiFeYPO_4 , tedy s příměsí yttria. K sestavení akumulátoru o napětí 12 V, je nutné pořídit čtveřici těchto článků. Samotný článek disponuje jmenovitou kapacitou $C_n = 160 \text{ Ah}$, jež s rostoucím vybíjecím proudem téměř neklesá, což je značná výhoda oproti oloveným akumulátorům. Teprve až s vybíjecím proudem vyšším než $I_v = 1C_n = 160 \text{ A}$ klesá využitelná kapacita článku pod 100% jeho kapacity. Jelikož by se ale článek měl vybíjet optimálně proudem $I_v = 0,5C_n = 80 \text{ A}$, lze pokles kapacity v takovém případě zanedbat.

Na kapacitu článku má také vliv teplota, při které se provozuje. Optimálně by se měla pohybovat na úrovni 25 °C. S poklesem teploty klesá i využitelná kapacita článku, kdy při -45 °C se drží stále nad 80 % jmenovité kapacity.

Cyklická odolnost lithiových článků je na skvělé úrovni, kdy při 80 % hloubce vybíjení v každém cyklu můžeme očekávat životnost více než 3000 cyklů.

Tabulka 5-26 - Parametry akumulátoru Winston WB-LYP160AHA [50]

Winston WB-LYP160AHA			
Jmenovitá kapacita	[Ah]	160	
Rozsah provozních napětí	[V]	2,8-4,0	
Maximální nabíjecí proud	[A]	≤ 480	
Maximální vybíjecí proud	konstantní	[A]	≤ 480
	pulzní	[A]	≤ 3200
Standardní nabíjecí/vybíjecí proud	[A]	80	
Cyklická životnost	DOD 80%	[-]	≥ 3000
	DOD 70%	[-]	≥ 5000
Teplotní odolnost obalu článku	[°C]	≤ 200	
Rozsah provozních teplot	[°C]	-45/+85	
Ztráty samovybíjením	[%]	≤ 3	
Hmotnost	[kg]	5,6 ± 100 g	



5.7.5 Závěrečné srovnání akumulátorů

Souhrnné údaje o vybraných typech akumulátoru přehledně uvádí Tabulka 5-27. Ceny akumulátorů značky Hoppecke byly zjišťovány pomocí německého vyhledávače www.preisroboter.de a jedná se o nejnižší nalezené ceny. Ceny ostatních akumulátorů pocházejí ze stránek <http://www.nejlevnejsiautobaterie.eu> a <http://3xe-electric-cars.com>.

Tabulka 5-27 - Shrnující údaje o akumulátorech [47],[48],[49],[50]

		Hoppecke 12V 3 OPzS bloc solar.power 200	Hoppecke 12V 3 OPzV bloc solar.power 180	FG Forte FG12-150D 12V	Winston WB-LYP160AHA 12V
Typ		OPzS	OPzV	AGM	LiFeYPO ₄
Kapacita akumulátoru C ₁₀₀ [Ah]		200	200	-	160
Kapacita akumulátoru C ₁₀ [Ah]		151	154	150	160
Hmotnost [kg]		68,0	75,5	45,0	22,4
Cena bez DPH [EUR]		411	503	211	608
DPH [%]		19	19	21	23
Cena s DPH [EUR]		489	599	255	748
Počet cyklů - DOD 80%		1500	1400	500	3000
Počet cyklů - DOD 70%		1700	1600	-	5000
Počet cyklů - DOD 50%		2700	2500	800	8000
Cena za 1 kWh [EUR/kWh]	C ₁₀ , DOD 80%	0,225	0,289	0,354	0,162
Cena za 1 kWh [EUR/kWh]	C ₁₀ , DOD 50%	0,200	0,259	0,354	0,097
Cena za 1 cyklus [EUR/cyklus]	DOD 80%	0,326	0,428	0,510	0,249
Cena za 1 cyklus [EUR/cyklus]	DOD 50%	0,181	0,240	0,319	0,093

Ze shrnující tabulky vyplývá, že i přes nejvyšší počáteční investici je pro náročný cyklický provoz ostrovního systému nejlepší volbou lithiový akumulátor Winston WB-LYP160AHA, u něž cena za 1 kWh dodané elektrické energie vychází nejpříznivěji. Výpočet pro čtvrtý řádek odspodu a akumulátor Winston byl proveden dle vzorce:

$$Cena\ za\ 1\ kWh = \frac{Cena\ s\ DPH}{(0,8 \cdot U_n \cdot C_{10} \cdot n) \cdot 10^{-3}} = \frac{748}{(0,8 \cdot 12 \cdot 160 \cdot 3000) \cdot 10^{-3}} = 0,162\ EUR/kWh$$

- ,kde
- U_n jmenovité napětí akumulátoru
 - C₁₀ kapacita akumulátoru při vybíjecím proudu I_v = 0,1 C₁₀
 - n počet cyklů při dané hloubce vybití, tedy při DOD 80 %

Naopak nejhůře dopadla nejlevnější varianta, a to akumulátor FG Forte FG12-150D 12V, což je dáno jeho malou cyklickou odolností.

Stejně je tomu i v případě, vydělí-li se cena jednotlivých akumulátorů počtem jejich možných cyklů. V ceně za jeden cyklus při hloubce vybití 80 % a 50 % opět vítězí akumulátor LiFeYPO₄. Jeho výhodou je rovněž nezanedbatelně nižší hmotnost oproti akumulátorům na bázi olova a dostupnost plné kapacity i při velkých vybíjecích proudech.

5.7.6 Dimenzování akumulátorů

Ze závěrečného srovnání jednotlivých druhů akumulátorů jasně vyplynulo, že i přes vyšší počáteční investici, je vhodné zvolit k akumulaci elektrické energie akumulátory lithiové s katodou LiFePO_4 , či LiFeYPO_4 . Tato skutečnost je dána jejich vysokou cyklickou odolností, širokém rozsahu pracovních teplot a stálostí kapacity při velkých vybíjecích proudech.

V ostrovních systémech se kapacita akumulátorů určuje dle požadovaného počtu dnů, ve kterých má být zajištěna dodávka elektrické energie i při nepřízní počasí. Běžně se stanovuje kapacita akumulátorů tak, aby pokryla spotřebu elektrické energie po dobu tří a více dnů.

Jak bylo vypočteno v podkapitole 3.2, průměrná délka intervalu mezi dvěma slunečnými dny činí 3,29 dnů. Z této hodnoty, zaokrouhlené na tři dny, bude vycházeno při dimenzování kapacity akumulátorů. Následuje Tabulka 5-28 s výpočtem potřebné kapacity pro všechny návrhové varianty.

Tabulka 5-28 - Výpočet kapacity akumulátorů

Výpočet kapacity akumulátorů				
	Jednotky	1.varianta	2.varianta	3.varianta
Denní spotřeba elektrické energie	[kWh]	4,681	3,796	2,060
Ztráty v měniči napětí	[%]	10	10	10
Denní potřeba elektrické energie se započtením ztrát v měniči napětí	[kWh]	5,201	4,217	2,289
Počet zálohovaných dnů	[-]	3	3	3
Potřebné množství elektrické energie	[kWh]	15,603	12,652	6,867
Jmenovité napětí akumulátoru	[V]	48	48	48
Kapacita akumulátoru pro daný počet zálohovaných dnů	[Ah]	325	264	143
Hloubka vybití akumulátoru	[%]	80	80	80
Celková kapacita akumulátoru s přihlédnutím k maximální hloubce jejich vybití	[Ah]	406	329	179

Dle výsledků již lze sestavit akumulátory pro jednotlivé návrhové varianty, které zobrazuje Tabulka 5-29. Ceny lithiových článků a spojovacího materiálu pocházejí z internetového obchodu <http://3xe-electric-cars.com>, jedná se o polský obchod, tudíž je nutné počítat s DPH ve výši 23 %.

Tabulka 5-29 - Návrhová kapacita akumulátorů

	Jednotky	1.varianta	2.varianta	3.varianta
Potřebná kapacita akumulátoru	[Ah]	406	329	179
Celková kapacita akumulátoru	[Ah]	400	320	180
Zvolený typ akumulátorových článků	[-]	Winston WB-LYP200AHA	Winston WB-LYP160AHA	Winston WB-LYP90AHA
Kapacita jednoho článku	[Ah]	200	160	90
Jmenovité napětí jednoho článku	[V]	3,2	3,2	3,2
Jmenovité napětí akumulátoru	[V]	48	48	48
Počet článků v sériovém zapojení	[ks]	16	16	16
Počet větví	[-]	2	2	2
Celkový počet článků	[ks]	32	32	32
Cena jednoho článku bez DPH	[EUR]	190	152	75
Cena akumulátorové baterie bez DPH	[EUR]	6091	4872	2412
Propojovací materiál	[EUR]	32	32	32
Cena za jednu spojku bez DPH	[EUR]	3	3	3
Cena za propojovací materiál bez DPH	[EUR]	98	98	98
Celková cena bez DPH	[EUR]	6188	4970	2509
DPH	[%]	23	23	23
Celková cena s DPH	[EUR]	7611	6113	3087
Celková cena s DPH	[Kč]	194853	156493	79017

V další tabulce lze spatřit technické parametry všech typů použitých lithiových článků.

Tabulka 5-30 - Technické parametry článků LiFePO_4 [50],[51],[52]

Model akumulátorového článku		Winston WB-LYP90AHA	Winston WB-LYP160AHA	Winston WB-LYP200AHA
Jmenovitá kapacita	[Ah]	90	160	200
Rozsah provozních napětí	[V]	2,8-4,0	2,8-4,0	2,8-4,0
Maximální nabíjecí proud	[A]	≤ 270	≤ 480	≤ 600
Maximální vybíjecí proud	konstantní	≤ 270	≤ 480	≤ 600
	pulzní	≤ 1800	≤ 3200	≤ 4000
Standardní nabíjecí/vybíjecí proud	[A]	45	80	100
Cyklická životnost	DOD 80%	≥ 3000	≥ 3000	≥ 3000
	DOD 70%	≥ 5000	≥ 5000	≥ 5000
Teplotní odolnost obalu článku	[°C]	≤ 200	≤ 200	≤ 200
Rozsah provozních teplot	[°C]	-45/+85	-45/+85	-45/+85
Ztráty samovybíjením	[%]	≤ 3	≤ 3	≤ 3
Hmotnost	[kg]	3,0 ± 100 g	5,6 ± 100 g	7,3 ± 100 g

Mnoho uživatelů lithiových akumulátorů LiFePO_4 využívá různých balančních obvodů z důvodů ochrany samotných článků před jejich přebíjením. V situaci, kdy jeden z článků během nabíjení konstantním proudem dojde nastaveného maximální nabíjecího napětí, které se nejčastěji volí 3,6 V na článek, a ostatní články tohoto napětí ještě nedosáhly, bude tento jeden článek přebíjen, čímž se zkracuje jeho životnost. Proto používají různých balancérů, které odvedou proud do odporové zátěže, která je paralelně připojena ke každému článku. Existují však i tací, kteří těchto obvodů nevyužívají a nastavením nižší hodnoty maximálního nabíjecího napětí drží články vybalancované i tak. Z tohoto důvodu nebude pořízení balančních obvodů uvažováno.

5.8 Rozpočet ostrovního systému

Po výběru komponent ostrovního systému je možné přikročit ke stanovení rozpočtu jednotlivých investičních variant. Do rozpočtu bude zahrnuta cena jednotlivých komponent systému a elektromateriálu jako jsou jističe, pojistky, pojistkové odpojovače, držáky a kabely. Do nákladů naopak nebude započítána cena stavební a elektromontážní práce a náklady na vybudování nosné konstrukce pro fotovoltaické panely, která bude postavena z vlastních zdrojů.

5.8.1 První návrhová varianta

V této variantě je použito výkonných komponent, což se samozřejmě odrazí ve výsledné výši investice, která dosahuje hodnoty 375 606 Kč s DPH. Pro uznání záruky vybraných akumulátorů je nutné použít sledovacího zařízení, které průběžně monitoruje stav akumulátoru a zabraňuje jeho poškození. Z tohoto důvodu bylo v této variantě, ale i ve zbývajících dvou využito měřicího zařízení Victron BMV 600S.

Tabulka 5-31 - Rozpočet první návrhové varianty

1.varianta						
Komponenty	Výrobce	Typ	Počet	Cena bez DPH	DPH [%]	Cena s DPH
Fotovoltaické panely	Yingli	YL240P-29b	12	45 392 Kč	21	54 924 Kč
MPPT regulátor	MorningStar	Tristar MPPT-60	1	11 583 Kč	21	14 015 Kč
Akumulátorový článek	Winston	WB-LYP200AHA	32	155 918 Kč	23	191 780 Kč
Spojovací materiál článků	-	-	32	2 596 Kč	23	3 193 Kč
Měníč napětí	Victron	MultiPlus 48/5000/70	1	59 632 Kč	21	72 155 Kč
Sledovač stavu akumulátoru	Victron	BMV 600S	1	3 223 Kč	21	3 900 Kč
Elektrocentrála	Heron	EGM 48E LPG-NG-1F	1	23 545 Kč	21	28 490 Kč
Elektromateriál	-	-	-	5 908 Kč	21	7 149 Kč
			Součet	301 890 Kč	-	375 606 Kč

5.8.2 Druhá návrhová varianta

Porovnáním první a druhé návrhové varianty, které se od sebe liší pouze snížením spotřeby elektrické energie prostřednictvím zakoupení úsporných zdrojů světla a vynecháním mikrovlnné trouby z návrhu, dospějeme k úspoře 48 306 Kč. Investice do úsporných zdrojů světla ve výši 7 630,5 Kč se tedy opravdu vyplatí.

Tabulka 5-32 - Rozpočet druhé návrhové varianty

2.varianta						
Komponenty	Výrobce	Typ	Počet	Cena bez DPH	DPH [%]	Cena s DPH
Fotovoltaické panely	Yingli	YL240P-29b	9	35 182 Kč	21	42 570 Kč
MPPT regulátor	MorningStar	Tristar MPPT-45	1	9 669 Kč	21	11 700 Kč
Akumulátorový článek	Winston	WB-LYP160AHA	32	124 731 Kč	23	153 420 Kč
Spojovací materiál článků	-	-	32	2 596 Kč	23	3 193 Kč
Měníč napětí	Victron	MultiPlus 48/5000/70	1	59 632 Kč	21	72 155 Kč
Sledovač stavu akumulátoru	Victron	BMV 600S	1	3 223 Kč	21	3 900 Kč
Elektrocentrála	Heron	EGM 48E LPG-NG-1F	1	23 545 Kč	21	28 490 Kč
Elektromateriál	-	-	-	3 505 Kč	21	4 241 Kč
Úsporné osvětlení	-	-	-	6 307 Kč	21	7 631 Kč
			Součet	258 580 Kč	-	327 300 Kč

5.8.3 Třetí návrhová varianta

Třetí návrhová varianta představuje kombinaci velmi úsporných spotřebičů a světelných zdrojů spolu s vynecháním energeticky náročných spotřebičů jako jsou elektrická trouba, rychlovarná konvice či mikrovlnná trouba, které jsou pro ostrovní provoz nevhodné. Investice do úsporného osvětlení a spotřebičů v tomto případě činí 61 547 Kč. Avšak při prodeji stávajícího vybavení domácnosti lze očekávat příjem asi 30 000 Kč. Po odečtení od pořizovací ceny nových spotřebičů a světelných zdrojů tak bude nutné investovat 31 547 Kč. Úspora nákladů na pořízení ostrovního systému však oproti první návrhové variantě dělá 167 512 Kč.

Tabulka 5-33 - Rozpočet třetí návrhové varianty

3.varianta						
Komponenty	Výrobce	Typ	Počet	Cena bez DPH	DPH [%]	Cena s DPH
Fotovoltaické panely	Yingli	YL190P-23b	6	18 565 Kč	21	22 464 Kč
MPPT regulátor	MorningStar	Tristar MPPT-45	1	9 669 Kč	21	11 700 Kč
Akumulátorový článek	Winston	WB-LYP90AHA	32	61 743 Kč	23	75 944 Kč
Spojovací materiál článků	-	-	32	2 596 Kč	23	3 193 Kč
Měnič napětí	Victron	MultiPlus 48/3000/50	1	35 783 Kč	21	43 298 Kč
Sledovač stavu akumulátoru	Victron	BMV 600S	1	3 223 Kč	21	3 900 Kč
Elektrocentrála	Heron	Heron EGM 20 LPG	1	10 417 Kč	21	12 605 Kč
Elektromateriál	-	-	-	2 846 Kč	21	3 443 Kč
Úsporné spotřebiče	-	-	-	26 072 Kč	21	31 547 Kč
Součet				170 915 Kč	-	208 094 Kč

6 HODNOCENÍ EFEKTIVNOSTI INVESTICE

V teorii a praxi finančního managementu existuje pro posuzování efektivity investičních projektů několik metod. Lze je dle různých kritérií rozdělit následovně:

- Dle přihlídnutí k faktoru času:
 - statické metody (nerespektují faktor času)
 - dynamické metody (respektují faktor času)
- Dle pojetí efektů z investičních projektů:
 - nákladová kritéria hodnocení efektivity
 - zisková kritéria hodnocení efektivity
 - čistý peněžní příjem z projektu

Statické metody lze použít tam, kde faktor času nemá podstatný vliv na ohodnocení a výběr příslušného projektu. Jedná se hlavně o projekty s velmi krátkou životností a nízkou hodnotou požadované míry výnosnosti, například jednorázové nákupy strojů, či budov.

Dynamické metody se využívají u projektů s delší dobou pořízení dlouhodobého majetku a dlouhou dobou životnosti. Do této kategorie patří většina investičních projektů.

U metod, jež se opírají o nákladová kritéria hodnocení efektivity investice, vystupuje do popředí úspora nákladů, a to jak nákladů investičních, tak i těch provozních. Často se používají u technických projektů, které zajišťují stejný rozsah produkce, či je jejich cílem pouze úspora nákladů, například úspora energií.

Při hodnocení efektivity investice pomocí ziskových kritérií, je hlavním efektem investování zisk. Jedná se o metody dokonalejší, než jsou metody nákladové, přesto se ale v dnešní době dává přednost metodám, které se opírají o peněžní příjem z projektu.

Mezi nejrozšířenější metody vyhodnocující efektivity investičních variant v současnosti dle zdroje [53] patří:

- průměrné roční náklady
- diskontované náklady
- čistá současná hodnota, index rentability
- vnitřní výnosové procento
- průměrná výnosnost
- doba návratnosti

K vyhodnocení navrhovaných variant bude tedy použito moderních dynamických metod, které se opírají o peněžní příjem z projektu, mezi něž se řadí čistá současná hodnota, index rentability a vnitřní výnosové procento.

6.1 Čistá současná hodnota

Jedná se o dynamickou metodu vyhodnocení efektivity investic, kterou lze definovat jako rozdíl mezi aktualizovanými peněžními příjmy z investice a pořizovacími náklady. Matematicky ji lze popsat následující rovnicí:

$$NPV = \sum_{j=1}^n \frac{P_j}{(1+i)^j} - K_i$$

kde:	NPV	čistá současná hodnota
	n	doba životnosti
	P_j	peněžní příjem z investice v j-tém roce
	K_i	pořizovací náklady
	i	požadovaná výnosnost investice

Interpretace různých možných výsledků je dle zdroje [53] následující:

- jestliže je $NPV > 0$, je investiční projekt přijatelný, jelikož zaručuje požadovanou míru výnosu;
- jestliže je $NPV < 0$, je investiční projekt nepřijatelný, protože nezajišťuje požadovanou míru výnosu;
- jestliže je $NPV = 0$, je projekt indiferentní.

Při porovnání více investičních variant je za nejvhodnější považována ta, která disponuje nejvyšší čistou současnou hodnotou.

6.2 Index rentability

Tento ukazatel je úzce spjat s čistou současnou hodnotou investičního projektu, přičemž vyjadřuje poměr očekávaných aktualizovaných peněžních příjmů k výši pořizovacích nákladů. [53]

Matematicky ho lze zapsat:

$$PI = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{P_j}{(1+i)^j}}{K_i}$$

,kde:	PI	index rentability
	n	doba životnosti
	P_j	peněžní příjem z investice v j-tém roce
	K_i	pořizovací náklady
	i	požadovaná výnosnost investice

Z uvedeného plyne, že kdykoliv je čistá současná hodnota kladná, index rentability je vyšší než 1, v opačném případě je index rentability menší než 1. Vede tedy ke stejným závěrům jako je tomu v případě výpočtu čisté současné hodnoty. [53]

6.3 Vnitřní výnosové procento

Tato metoda se rovněž řadí mezi dynamické a je považována za stejně vhodnou jako čistá současná metoda. Lze ji definovat jako takovou úrokovou míru, při které se současná hodnota peněžních příjmů z projektu rovná nákladům investičním. [53]

Matematicky ji lze popsat:

$$\sum_{j=1}^n \frac{P_j}{(1 + IRR)^j} - K_i = 0$$

kde:	IRR	vnitřní výnosové procento
	n	doba životnosti
	P_j	peněžní příjem z investice v j-tém roce
	K_i	pořizovací náklady

Pomocí vnitřního výnosového procenta tedy hledáme maximální úrokovou míru, při které není daný investiční projekt ještě ztrátový.

6.4 Stanovení příjmů a provozních nákladů

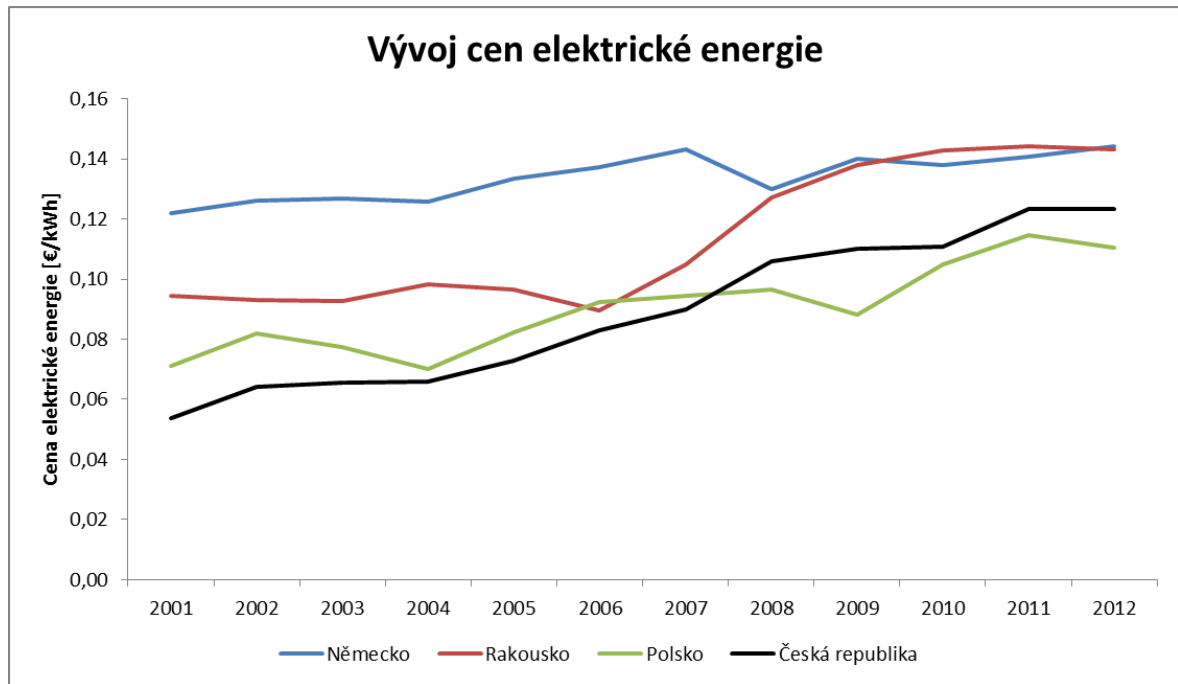
Před samotným výpočtem efektivnosti investice, je nejprve nutné stanovit výši příjmů, v tomto případě uspořené náklady za elektrickou energii, a výši provozních nákladů, plynoucích ze spotřeby zemního plynu a zkapalněného ropného plynu elektrocentrálami. Růst, či pokles ceny elektrické energie a zemního plynu bude podložen historickým vývojem cen těchto komodit.

6.4.1 Stanovení výše budoucích příjmů

Majitel bytové jednotky využívá služeb společnosti ČEZ Prodej a.s., konkrétně produktové řady Comfort D Standard v distribuční sazbě D02d. Při celkové spotřebě elektrické energie ve vysokém tarifu v hodnotě 1,391 MWh/rok činila platba za distribuci elektřiny, obchod a ostatní služby v minulém roce celkem 8 302,6 Kč s DPH. Dle ceníku pro rok 2013 bude za stejné množství spotřebované elektrické energie zapláceno 8 478,28 Kč. Tato částka tedy bude brána jako výchozí příjem v prvním roce. Ke stanovení výše budoucích úspor, je nutné nahlédnout do minulosti, přesněji do dat Eurostatu.

Vývoj ceny elektrické energie

Dle dlouhodobých dat Eurostatu vzrostla cena elektřiny v České republice od roku 2001 o 129,55 %, což znamená meziroční růst 7,85 %. V případě Polska došlo k meziročnímu nárůstu ceny o 4,11 %, v Rakousku o 3,86 % a v Německu o 1,53 %.



Obrázek 6-1 - Vývoj ceny elektrické energie pro domácnosti [54]

Ze získaných dat je vidět, že nejvyšší růst ceny této komodity zaznamenala Česká republika. Sice ještě nedosáhla cenové úrovně našich západních sousedů, ale v predikci vývoje budoucí ceny elektrické energie bude uvažováno již mírnější tempo růstu, konkrétně meziroční růst ve výši 4 %, který se odrazí v očekávaných příjmech.

6.4.2 Stanovení budoucích provozních nákladů

V případě všech návrhových variant bude zjednodušeně uvažováno s tím, že jak fotovoltaické panely, tak i akumulátory, regulátory, měniče a elektrocentrála vydrží po celou dobu životnosti plánového projektu. Do provozních nákladů tak budou započítány náklady na paliva, nutná k chodu elektrocentrál, a také náklady na výměnu oleje a běžnou údržbu elektrocentrály ve výši 500 Kč/rok. Náklady na údržbu přitom budou růst stejným tempem jako náklady na paliva.

Jak bylo již dříve spočítáno, elektrocentrála Heron EGM 48E LPG-NG-1F spotřebuje dle aktuálního ceníku zemní plyn v ceně:

- 1.varianta: 1 326,69 Kč/rok
- 2.varianta: 1 247,60 Kč/rok

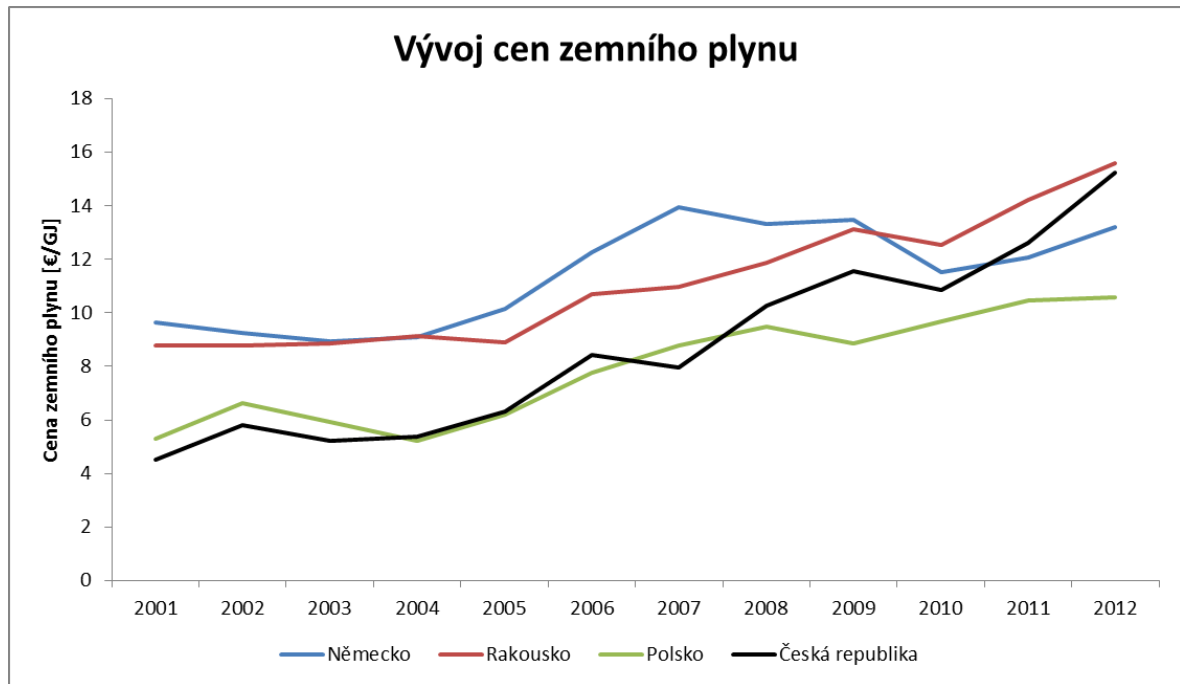
Elektrocentrála Heron EGM 20 LPG spotřebuje dle aktuálních cen zkapalněný ropný plyn v hodnotě:

- 3.varianta: 1231,54 Kč/rok

Aby byl správně odhadnut budoucí růst, či pokles cen zemního plynu, respektive LPG, je nutné vycházet z historického vývoje cen těchto komodit.

Vývoj ceny zemního plynu

K odhadu opět dobře poslouží dlouhodobé záznamy Eurostatu, na jehož webových stránkách jsou k dispozici údaje o vývoji cen zemního plynu pro domácnosti ve všech státech Evropské unie od roku 2001.



Obrázek 6-2 - Vývoj ceny zemního plynu pro domácnosti [55]

Z grafického znázornění je patrné, že nejvyšší nárůst zaznamenala v daném období Česká republika, v níž cena zemního plynu od roku 2001 stoupla o 238,40 %. To znamená meziroční nárůst cen o 11,72 %. V tom samém období zaznamenalo Polsko meziroční nárůst ceny zemního plynu ve výši 6,51 %, Rakousko 5,36 % a Německo pouhých 2,90 %.

Strmější růst v postkomunistických zemích je dán nižší počáteční cenou komodity, která ovšem během jednoho desetiletí vystoupala až na úroveň cen západních. Cenové hladiny jsou tedy již vyrovnány, a tak lze předpokládat, že strmý růst v naší zemi již nadále nebude pokračovat a bude spíše kopírovat vývoj v sousedních státech.

Při výpočtu budoucí ceny zemního plynu, rozuměno budoucích provozních nákladů, tedy bude uvažován meziroční růst ve výši 5 %. Stejného předpokladu bude využito i pro výpočet budoucí hodnoty LPG.

6.5 Vyhodnocení efektivity investičních variant

Hodnocení efektivity jednotlivých investičních variant bude vycházet z předpokladu, že jednotlivé projekty budou financovány z vlastních zdrojů a požadovaná míra výnosnosti bude na úrovni úrokové míry běžného bankovního spořicího účtu, tedy 1,5 % p.a. Předpokládaná životnost všech návrhových variant činí 25 let.

6.5.1 První návrhová varianta

Shrňující údaje o výši nutné investice, předpokládaných příjmech, provozních nákladech, požadované výnosnosti a procentních růstech příjmů a provozních nákladů zobrazuje Tabulka 6-1.

Tabulka 6-1 - Parametry pro výpočet efektivity investice – první varianta

Shrňující údaje		
Požadovaná výnosnost	[%]	1,5
Příjem v prvním roce	[Kč]	8 478
Provozní náklady v prvním roce	[Kč]	1 827
Investiční náklady	[Kč]	375 606
Meziroční růst provozních výdajů	[%]	5
Meziroční růst příjmů	[%]	4

Tabulka 6-2 obsahuje výsledky výpočtů čisté současné hodnoty a indexu rentability. Lze spatřit, že čistá současná hodnota projektu činí -161 266 Kč, tudíž ho nelze doporučit. Záporný výsledek potvrzuje i index rentability, který je menší než jedna.

Tabulka 6-2 - Výpočet efektivity investice – první varianta

Rok	Příjem	Výdaj	P_j	Odúročitel	Diskontovaný peněžní příjem	NPV	PI	IRR
1	8 478 Kč	1 827 Kč	6 652 Kč	0,985	6 553 Kč	-161 266 Kč	0,57	-
2	8 817 Kč	1 918 Kč	6 899 Kč	0,971	6 697 Kč			
3	9 170 Kč	2 014 Kč	7 156 Kč	0,956	6 844 Kč			
4	9 537 Kč	2 115 Kč	7 422 Kč	0,942	6 993 Kč			
5	9 918 Kč	2 220 Kč	7 698 Kč	0,928	7 146 Kč			
6	10 315 Kč	2 331 Kč	7 984 Kč	0,915	7 301 Kč			
7	10 728 Kč	2 448 Kč	8 280 Kč	0,901	7 460 Kč			
8	11 157 Kč	2 570 Kč	8 586 Kč	0,888	7 622 Kč			
9	11 603 Kč	2 699 Kč	8 904 Kč	0,875	7 788 Kč			
10	12 067 Kč	2 834 Kč	9 233 Kč	0,862	7 956 Kč			
11	12 550 Kč	2 975 Kč	9 574 Kč	0,849	8 128 Kč			
12	13 052 Kč	3 124 Kč	9 928 Kč	0,836	8 303 Kč			
13	13 574 Kč	3 280 Kč	10 294 Kč	0,824	8 482 Kč			
14	14 117 Kč	3 445 Kč	10 672 Kč	0,812	8 664 Kč			
15	14 682 Kč	3 617 Kč	11 065 Kč	0,800	8 850 Kč			
16	15 269 Kč	3 798 Kč	11 471 Kč	0,788	9 040 Kč			
17	15 880 Kč	3 987 Kč	11 892 Kč	0,776	9 233 Kč			
18	16 515 Kč	4 187 Kč	12 328 Kč	0,765	9 430 Kč			
19	17 175 Kč	4 396 Kč	12 779 Kč	0,754	9 631 Kč			
20	17 862 Kč	4 616 Kč	13 246 Kč	0,742	9 835 Kč			
21	18 577 Kč	4 847 Kč	13 730 Kč	0,731	10 044 Kč			
22	19 320 Kč	5 089 Kč	14 231 Kč	0,721	10 256 Kč			
23	20 093 Kč	5 344 Kč	14 749 Kč	0,710	10 473 Kč			
24	20 897 Kč	5 611 Kč	15 286 Kč	0,700	10 693 Kč			
25	21 732 Kč	5 891 Kč	15 841 Kč	0,689	10 918 Kč			

6.5.2 Druhá návrhová varianta

Shrnující údaje o výši nutné investice, předpokládaných příjmech, provozních nákladech, požadované výnosnosti a procentních růstech příjmů a provozních nákladů zobrazuje Tabulka 6-3.

Tabulka 6-3 - Parametry pro výpočet efektivity investice – druhá varianta

Shrnující údaje		
Požadovaná výnosnost	[%]	1,5
Příjem v prvním roce	[Kč]	8 478
Provozní náklady v prvním roce	[Kč]	1 748
Investiční náklady	[Kč]	327 300
Meziroční růst provozních výdajů	[%]	5
Meziroční růst příjmů	[%]	4

V této variantě opět vychází čistá současná hodnota v záporných číslech, tudíž i index rentability je menší než jedna a investice je nepřijatelná. Bližší údaje o výpočtu znázorňuje Tabulka 6-4.

Tabulka 6-4 - Výpočet efektivity investice – druhá varianta

Rok	Příjem	Výdaj	P_j	Odúročitel	Diskontovaný peněžní příjem	NPV	PI	IRR
1	8 478 Kč	1 748 Kč	6 731 Kč	0,985	6 631 Kč	-109 946 Kč	0,66	-
2	8 817 Kč	1 835 Kč	6 982 Kč	0,971	6 778 Kč			
3	9 170 Kč	1 927 Kč	7 243 Kč	0,956	6 927 Kč			
4	9 537 Kč	2 023 Kč	7 514 Kč	0,942	7 079 Kč			
5	9 918 Kč	2 124 Kč	7 794 Kč	0,928	7 235 Kč			
6	10 315 Kč	2 230 Kč	8 085 Kč	0,915	7 394 Kč			
7	10 728 Kč	2 342 Kč	8 386 Kč	0,901	7 556 Kč			
8	11 157 Kč	2 459 Kč	8 698 Kč	0,888	7 721 Kč			
9	11 603 Kč	2 582 Kč	9 021 Kč	0,875	7 890 Kč			
10	12 067 Kč	2 711 Kč	9 356 Kč	0,862	8 062 Kč			
11	12 550 Kč	2 847 Kč	9 703 Kč	0,849	8 237 Kč			
12	13 052 Kč	2 989 Kč	10 063 Kč	0,836	8 417 Kč			
13	13 574 Kč	3 138 Kč	10 436 Kč	0,824	8 599 Kč			
14	14 117 Kč	3 295 Kč	10 822 Kč	0,812	8 786 Kč			
15	14 682 Kč	3 460 Kč	11 222 Kč	0,800	8 976 Kč			
16	15 269 Kč	3 633 Kč	11 636 Kč	0,788	9 169 Kč			
17	15 880 Kč	3 815 Kč	12 065 Kč	0,776	9 367 Kč			
18	16 515 Kč	4 006 Kč	12 509 Kč	0,765	9 569 Kč			
19	17 175 Kč	4 206 Kč	12 970 Kč	0,754	9 774 Kč			
20	17 862 Kč	4 416 Kč	13 446 Kč	0,742	9 984 Kč			
21	18 577 Kč	4 637 Kč	13 940 Kč	0,731	10 197 Kč			
22	19 320 Kč	4 869 Kč	14 451 Kč	0,721	10 415 Kč			
23	20 093 Kč	5 112 Kč	14 981 Kč	0,710	10 637 Kč			
24	20 897 Kč	5 368 Kč	15 529 Kč	0,700	10 863 Kč			
25	21 732 Kč	5 636 Kč	16 096 Kč	0,689	11 094 Kč			

6.5.3 Třetí návrhová varianta

Shrnující údaje o výši nutné investice, předpokládaných příjmech, provozních nákladech, požadované výnosnosti a procentních růstech příjmů a provozních nákladů zobrazuje Tabulka 6-5.

Tabulka 6-5 - Parametry pro výpočet efektivity investice – třetí varianta

Shrnující údaje		
Požadovaná výnosnost	[%]	1,5
Příjem v prvním roce	[Kč]	8 478
Provozní náklady v prvním roce	[Kč]	1 731
Investiční náklady	[Kč]	208 094
Meziroční růst provozních výdajů	[%]	5
Meziroční růst příjmů	[%]	4

Následující tabulka již nabízí pohled na vypočtené ukazatele efektivity investice. Lze spatřit, že čistá současná hodnota dosahuje výše 9 893 Kč, tudíž je investice přijatelná. Index rentability v hodnotě 1,07 znamená, že projekt na 1 Kč investičního výdaje přinese 1,05 Kč peněžních příjmů. Maximální požadovaná výnosnost projektu, při které by ještě nebyl ztrátový, činí 1,84 %. Třetí varianta tedy jako jediná vyhověla a lze ji tedy jako investici schválit.

Tabulka 6-6 - Výpočet efektivity investice – třetí varianta

Rok	Příjem	Výdaj	P_j	Odúročitel	Diskontovaný peněžní příjem	NPV	PI	IRR
1	8 478 Kč	1 731 Kč	6 747 Kč	0,985	6 648 Kč	9 893 Kč	1,05	1,84
2	8 817 Kč	1 818 Kč	7 000 Kč	0,971	6 794 Kč			
3	9 170 Kč	1 908 Kč	7 262 Kč	0,956	6 944 Kč			
4	9 537 Kč	2 004 Kč	7 533 Kč	0,942	7 098 Kč			
5	9 918 Kč	2 104 Kč	7 814 Kč	0,928	7 254 Kč			
6	10 315 Kč	2 209 Kč	8 106 Kč	0,915	7 413 Kč			
7	10 728 Kč	2 320 Kč	8 408 Kč	0,901	7 576 Kč			
8	11 157 Kč	2 436 Kč	8 721 Kč	0,888	7 742 Kč			
9	11 603 Kč	2 557 Kč	9 046 Kč	0,875	7 911 Kč			
10	12 067 Kč	2 685 Kč	9 382 Kč	0,862	8 084 Kč			
11	12 550 Kč	2 820 Kč	9 730 Kč	0,849	8 260 Kč			
12	13 052 Kč	2 961 Kč	10 091 Kč	0,836	8 440 Kč			
13	13 574 Kč	3 109 Kč	10 465 Kč	0,824	8 624 Kč			
14	14 117 Kč	3 264 Kč	10 853 Kč	0,812	8 811 Kč			
15	14 682 Kč	3 427 Kč	11 254 Kč	0,800	9 002 Kč			
16	15 269 Kč	3 599 Kč	11 670 Kč	0,788	9 197 Kč			
17	15 880 Kč	3 779 Kč	12 101 Kč	0,776	9 395 Kč			
18	16 515 Kč	3 967 Kč	12 547 Kč	0,765	9 598 Kč			
19	17 175 Kč	4 166 Kč	13 010 Kč	0,754	9 804 Kč			
20	17 862 Kč	4 374 Kč	13 488 Kč	0,742	10 015 Kč			
21	18 577 Kč	4 593 Kč	13 984 Kč	0,731	10 229 Kč			
22	19 320 Kč	4 823 Kč	14 498 Kč	0,721	10 448 Kč			
23	20 093 Kč	5 064 Kč	15 029 Kč	0,710	10 671 Kč			
24	20 897 Kč	5 317 Kč	15 580 Kč	0,700	10 899 Kč			
25	21 732 Kč	5 583 Kč	16 150 Kč	0,689	11 131 Kč			

7 ZÁVĚR

Jedním z cílů práce byla řešerše současného stavu na poli soběstačného bydlení a nezávislosti na elektrické rozvodné síti. Zatím se stále jedná o ojedinělý způsob života, způsobený ať už nemožností vybudování elektrické přípojky, či jen zapříčiněný idealistickými myšlenkami. Avšak i z vývoje na půdě Evropského parlamentu lze sledovat silné tendence k omezení energetické náročnosti všech budov. Jak plyne z nového znění směrnice č. 2002/91/ES měly by již od roku 2020 být všechny budovy stavěny jako energeticky nulové, či takové úrovni blízké.

Nezávislosti lze dosáhnout různými způsoby, avšak minulé i současné dění ukazuje cestu jak toho docílit. Srdcem většiny autonomních systémů jsou solární panely, kterým sekundují akumulátorové baterie. Řídící funkci naopak plní sofistikovaný regulátor nabíjení, jenž doplňuje měnič napětí.

Existují samozřejmě i jiné varianty oproštění od elektrické soustavy. Ve vhodných lokalitách lze například využít síly větru či vody. Jelikož je ale sluneční záření dostupné na celé naší planetě, stává se fotovoltaická technologie, i díky svým nízkým nárokům na údržbu, jasnou volbou.

Pro konkrétní návrh autonomního systému byl vybrán objekt skládající se ze tří bytových jednotek, jenž je součástí starší rurální zástavby a postupně prochází průběžnou revitalizací. Vzhledem k jeho umístění a majitelovým preferencím byly zvoleny k alternativnímu napájení zvolené bytové jednotky fotovoltaické panely, jež bude v zimním období podporovat doplňkový zdroj elektrické energie.

Objekt je doposud připojen k distribuční síti a roční spotřeba elektrické energie vybrané bytové jednotky v současnosti činí 1391 kWh. Z roční spotřeby elektrické energie však není možné určit energetickou náročnost bytové jednotky v zimním období, která je pro návrh autonomního systému stěžejní. Z tohoto důvodu bylo provedeno měření, jež mělo za úkol stanovit jednak spotřebu elektrické energie v zimních měsících, ale zároveň i určit energetickou náročnost jednotlivých spotřebičů.

Na základě měření byla stanovena průměrná týdenní a denní spotřeba elektrické energie v zimních měsících, která se vyšplhala na hodnotu 32,767 kWh, respektive 4,681 kWh. Z těchto hodnot již lze vycházet při dimenzování ostrovního systému.

K návrhu ostrovního systému však bylo přistoupeno jiným způsobem. Z vyhodnocení náročnosti elektrických spotřebičů byly určeny možnosti úspor, vyhledány úsporné spotřebiče a zdroje světla, a na základě úspor energie stanoveny tři návrhové varianty.

První varianta vychází ze stávající konfigurace spotřebičů a průměrné denní spotřeby v zimních měsících v hodnotě 4,681 kWh. Druhá varianta je zaměřena na pořízení úsporných zdrojů světla a omezení spotřeby jednotlivých spotřebičů v pohotovostním režimu, přičemž disponuje průměrnou denní spotřebou ve výši 3,796 kWh. Třetí varianta pak představuje komplexní kombinaci úsporných spotřebičů a světelných zdrojů, omezení spotřeby v pohotovostním režimu a nahrazení energeticky náročných spotřebičů jako je elektrická trouba, či rychlovarná konvice plynovým ohřevem. Průměrná denní spotřeba v této variantě poklesla až na 2,060 kWh.

Jak bylo již uvedeno výše, základním kamenem navrhovaného ostrovního systému, byly zvoleny fotovoltaické panely. K jejich výběru byla provedena analýza trhu, z které vyplynul

závěr, že v ceně za 1 Wp výkonu vítězí amorfní fotovoltaické panely, následované panely polykrystalickými. Z důvodu záboru co nejmenší plochy tak byla zvolena pro jednotlivé návrhové varianty polykrystalická technologie.

Při výběru doplňkového zdroje elektrické energie bylo vycházeno z celoročního měření rychlosti větru, které probíhalo nedaleko objektu pomocí domácí meteorostanice s anemometrem. Ta ovšem nedisponuje funkcí záznamu dat, a tak byla rychlost větru odečítána pravidelně třikrát denně. Z naměřených hodnot tak lze pouze odhadovat produkci větrné elektrárny v dané lokalitě. Vzhledem k nízké hodnotě průměrné rychlosti větru, která dle měření činí 2,66 m/s, nízké produkci v měsíci lednu a vysoké ceně samotného větrného generátoru a jeho příslušenství, byla možnost využití větrné elektrárny zamítnuta. Doplňkovým zdrojem tak byla zvolena plynová elektrocentrála s nízkými provozními náklady.

V oblasti akumulace energie byly vynechány perspektivní technologie jako je akumulace do vodíku, vanadium-redoxové články a akumulátory na bázi lithium-síra či lithium-vzduch. V budoucnosti možná přijde jejich doba, ale v současnosti se zatím jedná o drahá řešení, která se v některých případech stále nacházejí pouze v testovacím provozu. Na základě průzkumu trhu tak byly zvoleny, i přes nutnost vyšší počáteční investice, lithiové akumulátory LiFePO_4 .

Výběr MPPT regulátoru a měniče napětí se řídil dle navržené konfigurace fotovoltaických panelů, respektive dle předpokládaného soudobého příkonu spotřebičů. Při výběru měniče napětí rovněž hrálo roli použití elektrocentrály, tudíž byl zvolen měnič s integrovanou nabíječkou akumulátorů.

Z hlediska provedení elektroinstalace nebylo uvažováno napájení elektrospotřebičů pomocí stejnosměrného napětí, a to kvůli velké vzdálenosti mezi technickou místností a domovním rozváděčem a zvolenému vyššímu napětí akumulátorů. Většina spotřebičů totiž pracuje se stejnosměrným napětím 12/24 V. Rovněž cena a účinnost stejnosměrných spotřebičů zaostává za výrobky, jež jsou určeny pro střídavý elektrický rozvod.

Ze závěrečného ekonomického hodnocení dopadla nejlépe nejúspornější, tedy třetí návrhová varianta. Její pořizovací cena se vyšplhala na 208 094 Kč a oproti stávající konfiguraci spotřebičů by bylo při návrhu autonomního systému ušetřeno 167 512 Kč. Třetí návrhová varianta také jako jediná zaznamenala kladnou čistou současnou hodnotu a index rentability vyšší než jedna a tudíž je z pohledu hodnocení efektivnosti investic vyhovující.

Z ekonomického hodnocení tedy vyplývá, že před samotným návrhem autonomního systému je z investičního hlediska velmi výhodné, ne-li nutné, dosáhnout co největších úspor na straně spotřeby elektrické energie, jak to dokládá tato práce.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] REYNOLDS, Michael E. *Earthship. how to build your own*. 5. print. Taos, N.M: Solar Survival Press, 1990. ISBN 09-626-7670-5.
- [2] Autonomous building: Wikipedia, the free encyclopedia. *Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. 2013 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Autonomous_building
- [3] The Temptations of Survivalism, or, What do you do with your waste?: Places: Design Observer. *Design Observer* [online]. 2010 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://places.designobserver.com/feature/the-temptations-of-survivalism-or-what-do-you-do-with-your-waste/13998/>
- [4] 10 Reasons Why EarthShips Are F!#%ing Awesome. *High Existence* [online]. 2012 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://www.highexistence.com/10-reasons-why-earthships-are-fing-awesome>
- [5] ING House Office Amsterdam. *Urbika: Architecture and city development* [online]. 2010 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://www.urbika.com/projects/view/1129-ing-house>
- [6] Fronius is ready for the future: Fronius International GmbH - Keeping up-to-date - Press releases. *Fronius International GmbH* [online]. 2012 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-90235557-3144D98C/fronius_international/hs.xsl/83_20054_ENG_HTML.htm?inc=92721.htm
- [7] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012, 195 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.
- [8] Česká republika. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2010/31/EU ze dne 19. května 2010 o energetické náročnosti budov. In: *EUR-Lex: Přístup k právu Evropské unie*. Štrasburk, 2010. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:CS:PDF>
- [9] *Mapy Google* [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: <http://maps.google.com/>
- [10] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2011, 176 s. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [11] Fotovoltaika - sluneční záření v České republice. *Isofen Energy* [online]. 2009 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx>
- [12] *JRC's Institute for Energy and Transport - PVGIS - European Commission* [online]. 2013 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/index.htm>
- [13] VaV/320/08/03 | Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v.v.i: Výzkum vhodnosti lokalit v ČR z hlediska zásob větrné energie a zpracování metodiky pro posuzovací a schvalovací řízení při zavádění větrných elektráren. *Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v.v.i* [online]. 2011 [cit. 2013-03-25]. Dostupné z: <http://www.ufa.cas.cz/struktura-ustavu/oddeleni-meteorologie/projekty-egp/vetrna-energie/projekty-qsy/vavf320f08f03.html>
- [14] *Nahlížení do katastru nemovitostí* [online]. 2013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://nahlizenidokn.cuzk.cz/>
- [15] FK Technics FK 6211: ALFA.cz | ALFA COMPUTER. *ALFA.cz: počítače, notebooky, elektronika, fotoaparáty, telefony, navigace, MP3, LCD, grafické karty, monitory, tiskárny, Wi-Fi, hardware, audio, video, kabely* [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: <http://www.alfacomp.cz/php/product.php?eid=10514008O2ZN000YML>

- [16] 98/11/ES. SMĚRNICE KOMISE 98/11/ES: ze dne 27. ledna 1998, kterou se provádí směrnice Rady 92/75/EHS, pokud jde o uvádění spotřeby energie na energetických štítcích zdrojů světla pro domácnost. Brusel, 27. leden 1998. Dostupné z: http://www.sgpstandard.cz/editor/files/tech_poz/tech_poz/eu/znac_stitk/1998_11.pdf
- [17] ErP 244/2009. COMMISSION REGULATION (EC) No 244/2009: of 18 March 2009 implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for non-directional household lamps. Brussels: Andris PIEBALGS, 24.3. 2009. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:076:0003:0016:en:PDF>
- [18] MASTER LEDspotMV D 4-35W GU10 WW 25D - Philips. *Royal Philips* [online]. 2013 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: http://www.ecat.lighting.philips.cz/l/svetelne-zdroje-profesionalni/led-lighting-systems/led-svetelne-zdroje/master-ledspot-mv/929000212602_eu/
- [19] OSRAM DULUX SUPERSTAR MICRO TWIST. *OSRAM* [online]. 2013 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: http://www.osram.com/osram_com/products/lamps/compact-fluorescent-lamps/osram-dulux-superstar/osram-dulux-superstar-micro-twist/index.jsp
- [20] TORNADO ESaver Dimmable 15W WW E27 1PF - Philips. *Royal Philips* [online]. 2013 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: http://www.ecat.lighting.philips.cz/l/svetelne-zdroje-profesionalni/kompatni-zarivky-patice-e14-a-e27/specialni-usporne-zdroje/tornado-esaver-dimmable/929689678101_eu/
- [21] EcoClassic 42W E27 230V A55 CL 1CT - Philips. *Royal Philips* [online]. 2013 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: http://www.ecat.lighting.philips.cz/l/svetelne-zdroje-profesionalni/halogenove-zarovky/halogenove-bez-reflektoru-230v/ecoclassic-a-shape/925693044201_eu/
- [22] EcoClassic 28W E14 230V NR50 FR 1CT - Philips. *Royal Philips* [online]. 2013 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: http://www.ecat.lighting.philips.cz/l/svetelne-zdroje-profesionalni/halogenove-zarovky/halogenove-s-reflektorem-230v/ecoclassic-reflector/925640044201_eu/
- [23] EcoClassic 28W E27 230V A55 CL 1CT - Philips. *Royal Philips* [online]. 2013 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: http://www.ecat.lighting.philips.cz/l/svetelne-zdroje-profesionalni/halogenove-zarovky/halogenove-bez-reflektoru-230v/ecoclassic-a-shape/925692944201_eu/
- [24] Verbatim LED Classic A E27 10W | Classic A. *Verbatim Europe* [online]. 2013 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: http://www.verbatim-europe.cz/cz_17/product_verbatim-led-classic-a-e27-10w_42127.html
- [25] Verbatim LED Classic A E27 7.3W | Classic A. *Verbatim Europe* [online]. 2013 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: http://www.verbatim-europe.cz/cz_17/product_verbatim-led-classic-a-e27-7-3w_42204.html
- [26] PARATHOM R50. *OSRAM* [online]. 2013 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: http://www.osram.com/osram_com/products/led-technology/lamps/professional-led-reflector-lamps/parathom-r50/index.jsp
- [27] Česká republika. Sdělení ERÚ k problematice ostrovních systémů fotovoltaických elektráren. In: 2010. Dostupné z: http://www.eru.cz/user_data/files/sdelen%C3%AD_elektro/Sdeleni%20ERU_FVE_ostrovni%20provoz%202.pdf

- [28] Ostrovní systémy (stand alone, off-grid). *SOLARENVI* [online]. 2012 [cit. 2012-11-11]. Dostupné z: <http://www.solarenavi.cz/slunecni-elektrarny/typy-instalaci/off-grid-ostrovnii-system/>
- [29] VANĚK, Jiří, Petr KŘIVÍK a Vítězslav NOVÁK. *Alternativní zdroje energie*. Brno, 2006.
- [30] YGE 60 Cell 40mm SERIES. *Power Your Life | Yingli Solar* [online]. 2012 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.yinglisolar.com/assets/uploads/products/downloads/YGE_60_Cell_Series_EN.pdf
- [31] Suntech: 250 Watt POLYCRYSTALLINE SOLAR MODULE. *Suntech Power - world's largest producer of solar panels* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: [http://www.suntech-power.com/images/stories/pdf/datasheets/en-GB/STP_230-260_20_Wd\(poly\)_EN_web.pdf](http://www.suntech-power.com/images/stories/pdf/datasheets/en-GB/STP_230-260_20_Wd(poly)_EN_web.pdf)
- [32] PANDA 60 Cell 40mm SERIES. *Power Your Life | Yingli Solar* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.yinglisolar.com/assets/uploads/products/downloads/Yingli%20Solar_PANDA%2060%20Cell.pdf
- [33] Powerful performance – high stability.: Bosch Solar Module c-Si M 60. *Bosch Solar Energy* [online]. 2012 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.bosch-solarenergy.com/media/remote_media_se/alle_pdfs/technische_dokumente_1/datenblaetter/kristalline_module/eu_1/m_60_eu42117_1/Bosch_Solar_Module_c_Si_M_60_EU42117-EU42123_en_Europe.pdf
- [34] SCHOTT PROTECT ASI series. *SCHOTT AG* [online]. 2012 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.schott.com/photovoltaic/english/download/schott_protect_asi_100-107_data_sheet_en_0112.pdf
- [35] YGE 48 Cell 40mm SERIES: Powered by Yingli [online]. 2013 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: http://www.yinglisolar.com/assets/uploads/products/downloads/YGE_48_Cell_Series_EN.pdf
- [36] Morningstar Corporation: TriStar MPPT. *Morningstar Corporation* [online]. 2013 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://www.morningstarcorp.com/en/tristar%20mppt>
- [37] Tristar MPPT: SOLAR CONTROLLER WITH MAXIMUM POWER POINT TRACKING. *Morningstar Corporation* [online]. 2010 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://www.morningstarcorp.com/en/support/library/TSMPTTsEng.pdf>
- [38] *Aeolos-H 500W*. London, 2013.
- [39] *Aeolos-H 1kW*. London, 2013.
- [40] Plynová rámová elektrocentrála EGM 48E LPG-NG-1F. *HERON: Ked' potrebujete silu...* [online]. 2013 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: http://www.heron.sk/produkty/elektrocentraly/plynove-ramove/4_8kw-1-fazova-e
- [41] *HERON EGM 48E LPG-NG-1F: Generátor elektrického proudu / CZ* [online]. 2008 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.heron.sk/userFiles/manual/8896315-manual.pdf>
- [42] CENÍK RWE PLYN STANDARD V KATEGORII DOMÁCNOST A MALOODBĚRATEL. *RWE The energy to lead* [online]. 2013 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: http://www.rwe.cz/cs/media/ceny-zp-2013/VCP_cenik_ZP_A4_Standard_030513.pdf?jjs=20130409132243

- [43] Heron EGM 20 LPG: Generátor elektrického proudu. *HERON: Keď potrebujete silu...* [online]. 2009 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.heron.sk/userFiles/manual/8896311-manual.pdf>
- [44] MultiPlus 800VA - 5kVA: Victron Energy. *Victron Energy - Střídače vč. nabíječek - Střídače bez nabíječek - Nabíječky baterií - a více* [online]. 2013 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.victronenergy.cz/inverters-chargers/multiplus-12v-24v-48v-800va-3kva/>
- [45] CENEK, Miroslav. *Akumulátory od principu k praxi*. Praha: FCC Public, 2003, 248 s. ISBN 80-865-3403-0.
- [46] JEŽEK, David. LiFePO4 - akumulátorový zázrak míří i do tužkových baterek!. *Ditt.cz* [online]. 2011 [cit. 2013-01-02]. Dostupné z: <http://ditt.cz/clanek/lifepo4-akumulatorovy-zazrak-miri-i-do-tuzkovych-baterek>
- [47] OPzS bloc solar.power: Vented lead-acid battery for cyclic applications. *HOPPECKE Batterien* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.hoppecke.com/content/download/805/5203/file/OPzS_bloc_solar.power_en0213.pdf
- [48] OPzV bloc solar.power: Valve regulated lead-acid batteries for cyclic applications. *HOPPECKE Batterien* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.hoppecke.com/content/download/802/5177/file/OPzV_bloc_solar.power_en0213.pdf
- [49] Solární akumulátory. *Fg-FORTE: Staniční baterie, trakční baterie do vysokozdvíhových vozíků, startovací baterie, nabíječky baterií, solární napájení* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.fg-forte.cz/cz/kategorie/solarni-akumulatory.aspx>
- [50] WB-LYP160AHA. *Winston Battery Limited* [online]. 2011 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: http://en.winston-battery.com/index.php/products/power-battery/item/wb-lyp160aha?category_id=176
- [51] WB-LYP200AHA. *Winston Battery Limited* [online]. 2011 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: http://en.winston-battery.com/index.php/products/power-battery/item/wb-lyp200ahab?category_id=176
- [52] WB-LYP90AHA. *Winston Battery Limited* [online]. 2011 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://en.winston-battery.com/index.php/products/power-battery/item/wb-lyp90aha?category_id=176
- [53] VALACH, Josef. *Investiční rozhodování a dlouhodobé financování*. 2. přeprac. vyd. Praha: Ekopress, 2005, 465 s. ISBN 80-869-2901-9.
- [54] Electricity prices for household consumers. *Eurostat Home* [online]. 2013 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=ten00115&plugin=1>
- [55] Gas prices for household consumers. *Eurostat Home* [online]. 2013 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=ten00113&plugin=1>