

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh Off-grid systému pro malé odběratelské místo

ANOTACE

Tato diplomová práce se zabývá návrhem Off-grid systému pro malé odběratelské místo, respektive pro rodinný dům. Off-grid systém lze volně přeložit jako soběstačný systém, který není závislý na dodávce elektřiny z distribuční sítě. Práce je rozdělena na několik hlavních bodů. V první části se zaměřuji na popis obnovitelných zdrojů energie v České republice v obecném pojetí, rozborem solární energie dále fotovoltaickým systémem a jeho zhodnocením v provozu. Druhá část je již samotný návrh Off-grid systému, kde jsou podrobně rozebrány jednotlivé části potřebné pro chod systému. V tabulkových formách jsou porovnány investiční náklady pro navržené varianty.

KLÍČOVÁ SLOVA

Off-grid systém, obnovitelné zdroje energie, distribuční síť, fotovoltaický systém, Mikro-kogenerační jednotka

ANOTATION

This thesis deals with design of Off-grid system for small supply point like a family house. Off-grid system is self-sustaining system which is not dependant on electricity from delivery network. The thesis is divided into two parts. First one deals with description of renewable sources of energy, photovoltaic system and its evaluation. Second part deals with Off-grid system itself and detail analysis of individual parts necessary for working system. It also contains comparison of the investment costs between suggested variants.

KEY WORDS

Off-grid system, renewable sources of energy, delivery network, photovoltaic system, micro-cogeneration unit

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl zejména poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Konstantinu Schejbalovi, Csc. za jeho podporu a mnoho rad při vedení diplomové práce. Dále bych rád poděkoval svému konzultantovi Ing. Jaroslavu Bořkovi za poskytnutí cenných informací. V neposlední řadě bych rád poděkoval svým rodičům a přátelům za morální i finanční podporu při studiu.

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 30.4.2013

Jakub Štajner

Obsah

Obsah	- 5 -
ÚVOD	- 10 -
1. Obnovitelné zdroje energie.....	- 11 -
1.1. Obnovitelné zdroje energie v ČR.....	- 12 -
1.1.1. ČR po vstupu do Evropské unie.....	- 13 -
1.1.2. Připojení OZE do distribuční sítě v ČR	- 17 -
1.1.3. Shrnutí.....	- 18 -
2. Popis zvoleného obnovitelného zdroje	- 19 -
2.1. Solární energie.....	- 19 -
2.1.1. Princip získání energie ze slunečního záření	- 20 -
2.1.2. Využití solární energie v ČR.....	- 21 -
2.2. Základní část fotovoltaického panelu	- 22 -
2.2.1. Fotovoltaický článek.....	- 22 -
2.2.2. Fotovoltaický panel.....	- 24 -
2.2.3. Složení panelu.....	- 25 -
2.2.4. Energetická návratnost FV panelu	- 26 -
3. Hodnocení provozu	- 27 -
3.1. Analýza výkonů OZE	- 27 -
3.2. Činná výroba	- 29 -
3.2.1. Činný výkon.....	- 30 -
3.3. Zhodnocení	- 31 -
4. Off-Grid Systém	- 32 -
4.1. Návrh umístění Off-grid systému	- 34 -
4.2. Analýza spotřeby elektřiny rodinného domu	- 35 -
4.3. Tepelná spotřeba – tepelné ztráty objektu	- 37 -
4.4. Snížení spotřeby před vlastním návrhem.....	- 39 -
4.5. Popis jednotlivých komponent	- 42 -
4.5.1. FV panel.....	- 42 -
4.5.2. Baterie.....	- 43 -
4.5.3. Měnič	- 45 -
4.5.4. Solární regulátor MPPT	- 46 -
4.5.5. Mikro-kogenerační jednotka	- 47 -
4.5.6. Řídící jednotka	- 49 -
4.6. Technická část – výběr jednotlivých komponent.....	- 50 -
4.7. Druhy návrhu systému.....	- 55 -
4.7.1. Současný stav.....	- 55 -

4.7.2.	Varianta I. – Návrh FV systému pro Off-grid systém.....	- 56 -
4.7.3.	Varianta II. – Mikro-kogenerační jednotka + Distribuční síť	- 57 -
5.	Ekonomické vyhodnocení	- 60 -
5.1.	Vyhodnocení investičních nákladů.....	- 60 -
5.1.1.	Varianta I.	- 60 -
5.1.2.	Varianta II.	- 62 -
6.	Shrnutí a zhodnocení systému	- 64 -
6.1.	Shrnutí navrženého systému – Varianta I.	- 65 -
6.2.	Shrnutí navrženého systému – Varianta II.	- 65 -
6.3.	Porovnání variant.....	- 66 -
6.4.	Zhodnocení	- 67 -
7.	Závěr	- 68 -
8.	SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ V TEXTU.....	- 70 -
9.	LITERATURA.....	- 72 -
10.	SEZNAM PŘÍLOH	- 74 -
11.	Použité zkratky.....	- 76 -

ÚVOD

V diplomové práci se zabývám problematikou návrhu Off-grid systému, který bude navržen pro rodinný dům. Pojem Off-grid systém se dá volně popsat jako systém, který pracuje samostatně bez připojení k distribuční soustavě nízkého napětí. Aby tento systém dokázal pracovat samostatně, je zapotřebí určitý druh obnovitelného zdroje energie. V této práci se budu zabývat obnovitelným zdrojem energie, který je v posledních letech ve velkém rozvoji a značným způsobem se rozšířila jeho výstavba v Evropě. Daným zdrojem je fotovoltaický systém resp. solární systém.

Práce je rozdělena na dvě hlavní části. První část se zaměřuje na obecný pohled obnovitelných zdrojů energie. Dále zde popisuji fungování a výrobu elektřiny pomocí fotovoltaického systému. V druhé části práce se zabývám samotným Off-grid systémem a jeho návrhem s potřebnými komponenty pro fungování v rodinném domě. K porovnání s fotovoltaickým systémem jsem vybral mikro-kogenerační jednotku, která má také svůj vlastní návrh. Závěrem bude ekonomické vyhodnocení jednotlivě navržených variant systému.

Se stále rostoucími nároky na energii a pomalu klesajícími zásobami fosilních paliv se obnovitelné zdroje elektřiny budou stále více podílet na celkové výrobě. Netýká se to jen otázky jejich státní podpory, ale i použití novějších a vyspělejších technologií. Budou se prosazovat i řešení tzv. energetické nezávislosti a v budoucnu může dojít k tomu, že právě Off-grid systémy budou běžnou součástí staveb. Právě Off – grid systém představuje velký energetický a ekonomický potenciál pro celou společnost.

1. Obnovitelné zdroje energie

V posledních letech je snaha o zvýšení výroby energie z obnovitelných zdrojů, tedy bez použití nefosilních paliv. Jelikož spotřeba nefosilních paliv (ropy, uhlí) se stále se zvyšujícími nároky na spotřebu energie stoupá, snažíme se spotřebu těchto paliv alespoň omezit použitím obnovitelných zdrojů. Z důvodu snadnějšího přístupu a dostupnosti fosilních paliv jsou nefosilní paliva odsunuta až na druhé místo. Díky stále se zlepšujícím technologiím se obnovitelné zdroje energie staly hlavním bodem zájmu.

Základními důvody proč využívat obnovitelné zdroje energie byly a stále jsou:

- snižování zatížení a ochrana životního prostředí (snížení emisí CO₂, skleníkové plyny, kyselá dešť vyvolaná emisemi SO₂)
- zvýšení ochrany klimatu (zpomalit globální oteplování)
- šetrnější a efektivnější využití primárního zdroje energie
- snižování závislosti na dovozu energetických surovin

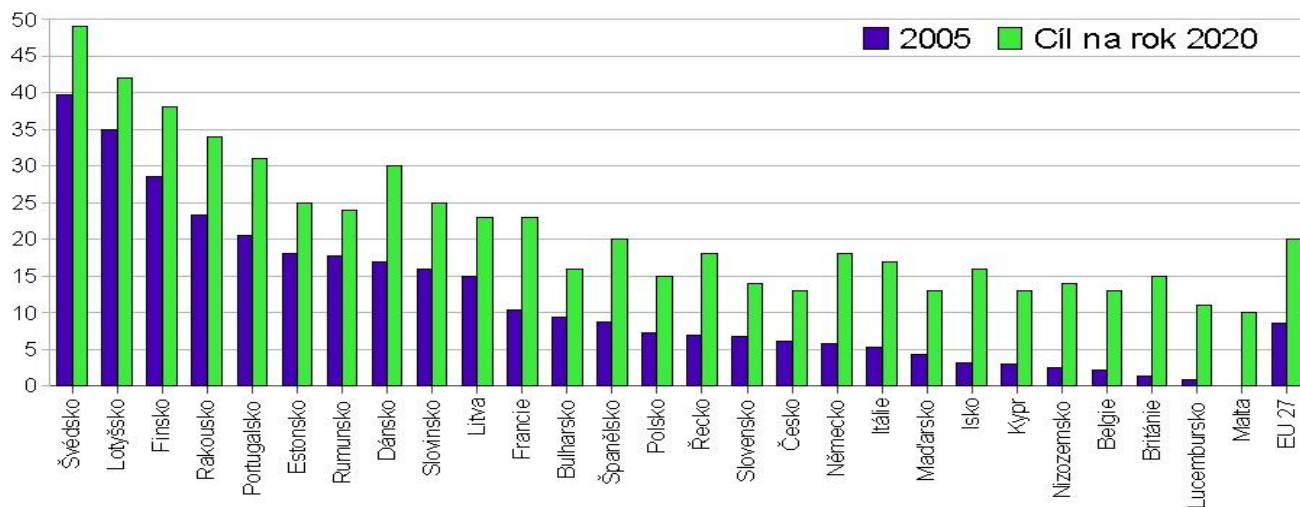
Co můžeme rozumět pod pojmem obnovitelné zdroje energie? Obnovitelné zdroje energie (dále jen OZE) můžeme chápat jako zařízení pro výrobu elektřiny nebo tepla využívající formu energie, která se na Zemi obnovuje za velice krátký časový úsek nebo je nevyčerpatelná.

OZE můžeme rozdělit do tří hlavních skupin:

- sluneční záření (slunce, vítr, voda)
- gravitační síla (přiliv a odliv)
- geotermální energie Země

Na následujícím grafu (Graf 1-1) můžeme vidět, jaké plány má Evropská unie (EU) podle nejnovějších směrnic, jaké cíle si předsevzala pro zvýšení své energie z OZE. Na ose „x“ jsou uvedeny členské státy Evropské Unie (dále jen EU) a na ose „y“ je procentuální vyhodnocení výroby energie z OZE. Pro každou zemi jsou zde uvedeny dva sloupce a to pro rok 2005 a předsevzatý cíl zlepšení podílu OZE do roku 2020.

Podíl obnovitelných zdrojů energie



Graf 1-1 Podíl obnovitelných zdrojů energie ve společenských zemí EU [1]

1.1. Obnovitelné zdroje energie v ČR

Stále můžeme konstatovat, že výroba elektrické energie z OZE jak ve světě, tak i v České republice, nehraje hlavní roli, i přesto že se podíl výroby z OZE na hrubé spotřebě elektřiny stále zvyšuje. OZE vedou především v šetrném přístupu k životnímu prostředí a k využití ve větším rozsahu v budoucnu. Avšak například výstavba slunečních elektráren na zemědělské půdě nebyla šťastným řešením.

Český zákon, č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů a změně některých zákonů ze dne 31. března 2005, § 2, odst. 1, definuje využívání obnovitelných zdrojů takto:

„Obnovitelnými zdroji se rozumí obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou větrná energie, sluneční energie, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu a energie biomasy.“

K zákonu č. 180/2005 Sb. byla k 1. 1. 2013 vydána novela, která pojednává o podpoře OZE, ale omezuje podporu pouze na FVE s instalovaným výkonem do 30 kW, které jsou umístěny na střešních konstrukcích nebo na obvodových zdech budov. Tím bude naplněn hlavní přínos rozptýlených zdrojů, kterým je spotřeba vyrobené elektřiny v místě výroby.

Obnovitelné zdroje energie mají různý podíl na celkové bilanci ve výrobě energie. Každá země má různé aspekty výhod a nevýhod pro podíl výroby energie z OZE.

Přesto jsou tu tři hlavní ukazatele, které tento podíl ovlivňují:

- zeměpisná poloha státu
- přírodní podmínky (větrné a sluneční podmínky)
- politické a společenské podmínky

Naše republika od počátku výroby elektřiny z OZE nejvíce využívá vodní energii. Podíl výroby elektřiny z vody je nejvyšší ze všech využívaných obnovitelných zdrojů u nás. Dalšími energeticky obnovitelnými zdroji jsou sluneční záření, energie větru, biomasy a bioplynu, geotermální energie a energie kapalných biopaliv. Především v uplynulých několika letech došlo k rozšíření slunečních elektráren a také ke zvýšení podílu spalování biomasy ve směsi s uhlím v teplárensky zaměřených výrobnách např. elektrárna Hodonín.

Je pravdou, že největší podíl z OZE je využíván z hydroenergetického potenciálu. Pro zvýšení účinnosti vodních elektráren dochází k modernizaci stávajících vodních elektráren. Vyšší cíle z hlediska dalšího rozvoje se přiklání ke spalování biomasy, především dřevní štěpky a dalším lesním rostlinným produktům. Česká republika má nevýhodnou polohu pro lepší využití slunečního záření. A také větrné podmínky nejsou ideální v porovnání např. s pobřežím u sousedního Německa.

Hlavními zdroji, které jsou u nás využívány, jsou fosilní paliva resp. hnědé uhlí, plyn, ropa a štěpné radioaktivní látky. Uhlí nám zaručuje energetickou soběstačnost, ale jeho zásoby jsou omezené. V nynější době se hovoří o zásobách hnědého uhlí při stejné spotřebě pouze na 18 let. Zbývá už jen zhruba 800 milionů tun z již 5 miliard tun vytěžených.

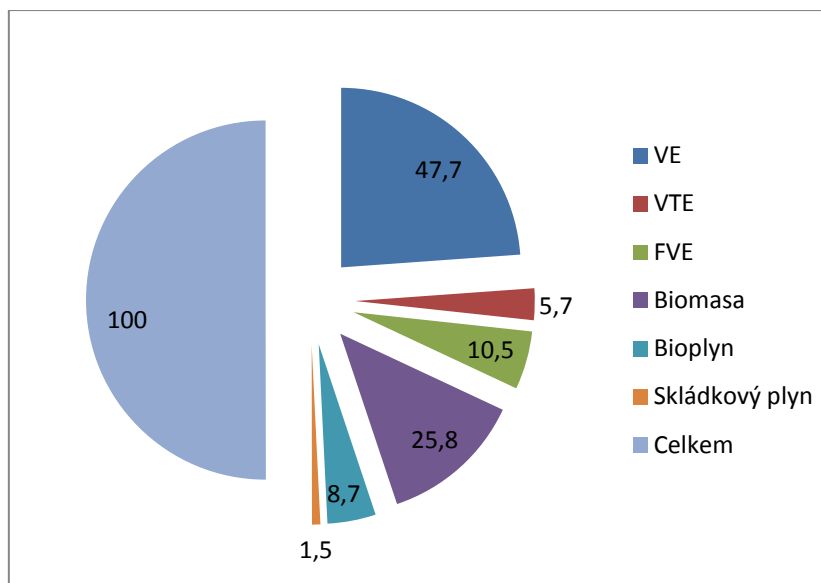
1.1.1. ČR po vstupu do Evropské unie

Důležité změny nastaly, pro naši republiku při vstupu do Evropské unie, dne 1. dubna 2004. Hlavním dokumentem podpory výroby elektřiny z OZE je směrnice 77/2001 ES. Tato směrnice „Podpora výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů v podmínkách jednotného trhu s elektřinou“ byla přijata se vstupem do EU. Směrnice 77/2001 ES vstoupila v platnost 27. října roku 2001. Hlavním závazkem této Směrnice bylo dospět k 12% podílu výroby energie z OZE na celkové energetické spotřebě v roce 2010. Česká republika stanovila, že dosáhne cíle ve výši 8% podílu z hrubé spotřeby elektřiny z OZE. Příloha ke Směrnici pro Českou republiku poznamenává, že dosažení tohoto orientačního cíle velice závisí na faktoru klimatických

podmínek, které samozřejmě ovlivňují v nemalé míře využití jak vodní, sluneční tak i větrné energie. Dále Směrnice obsahuje body pro snížení emisí skleníkových plynů a ostatních škodlivin pro ochranu klimatu a životního prostředí.

Energetická politika EU se snaží co nejefektivněji využít OZE. V posledních letech je právě podpora obnovitelných zdrojů hlavním bodem zájmu všech členů EU.

Na níže uvedeném výšečovém grafu (Graf 1-2) je vidět skladba výroby elektřiny z OZE v ČR pro rok 2010. Tabulka 1.1 vyjadřuje číselně daný graf, jak v procentech, tak v GWh.



Graf 1-2 Výroba elektřina z OZE pro rok 2010

Můžeme zde konstatovat, že největší podíl výroby elektřiny z OZE je u velkých vodních elektrárn. Pokud bychom se podívali na jiné druhy, než vodní energie, tak naše výroba energie dosahuje vyšších hodnot pouze u biomasy. Z dalších obnovitelných zdrojů např. z větrných elektrárn, fotovoltaických elektrárn či skládkového plynu je výroba elektřiny zanedbatelná.

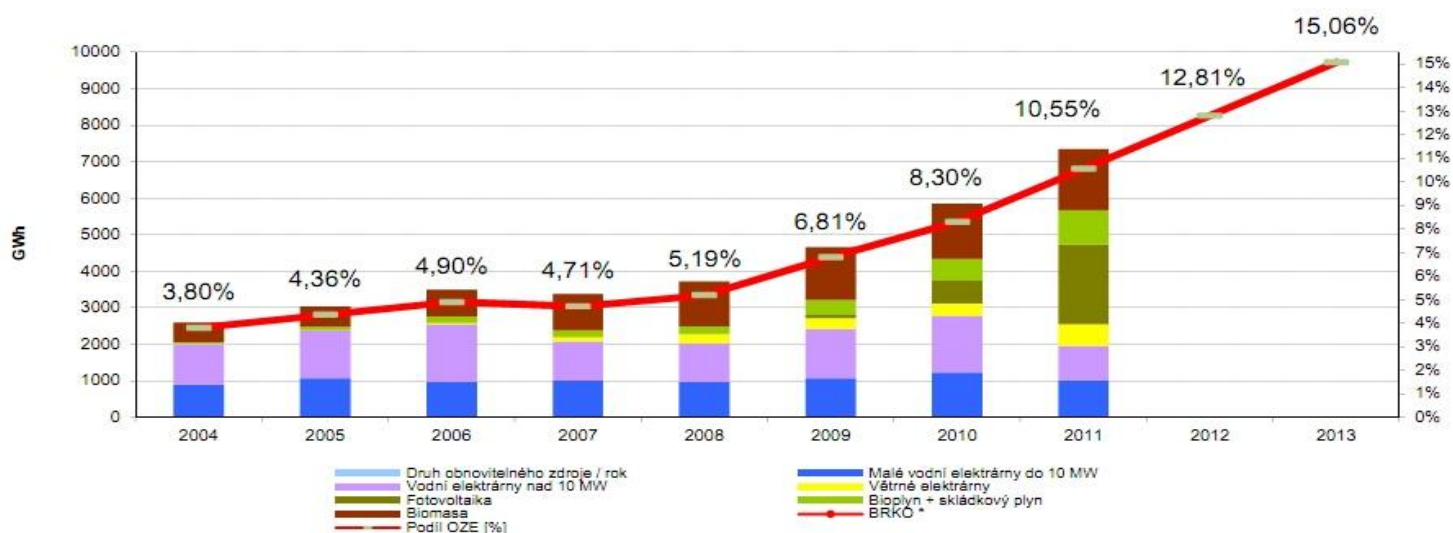
Typ	Vyrobena [GWh]	Podíl [%]
VE	2 789,40	47,7
VTE	335,5	5,7
FVE	615,7	10,5
Biomasa	1 511,90	25,8
Bioplyn	508,9	8,7
Skládkový plyn	89,3	1,5
Celkem	5 850,70	100

Tabulka 1.1 Rozdělení výroby z OZE

Z uvedeného grafu (Graf 1-3) je patrné jak výroba z OZE od roku 2004 do roku 2011 stoupla téměř o 7%. Procentuální vyjádření v grafu je hrubá výroba elektřiny z OZE na tuzemské spotřebě elektřiny. Na celkové hrubé výrobě elektřiny včetně vývozu se hrubá výroba elektřiny z OZE podílela 5,6%.

Kde z těchto 5,6% tvořilo:

- 2,95% vodní elektrárny (bez přečerpávacích elektráren)
- 0,35% větrné elektrárny
- 0,11% solární elektrárny
- 0,53% bioplyn
- 1,7% biomasa
- 0,01% BRKO



Graf 1-3 Vývoj výroby z OZE a její podíl na hrubé domácí spotřebě elektřiny [4]

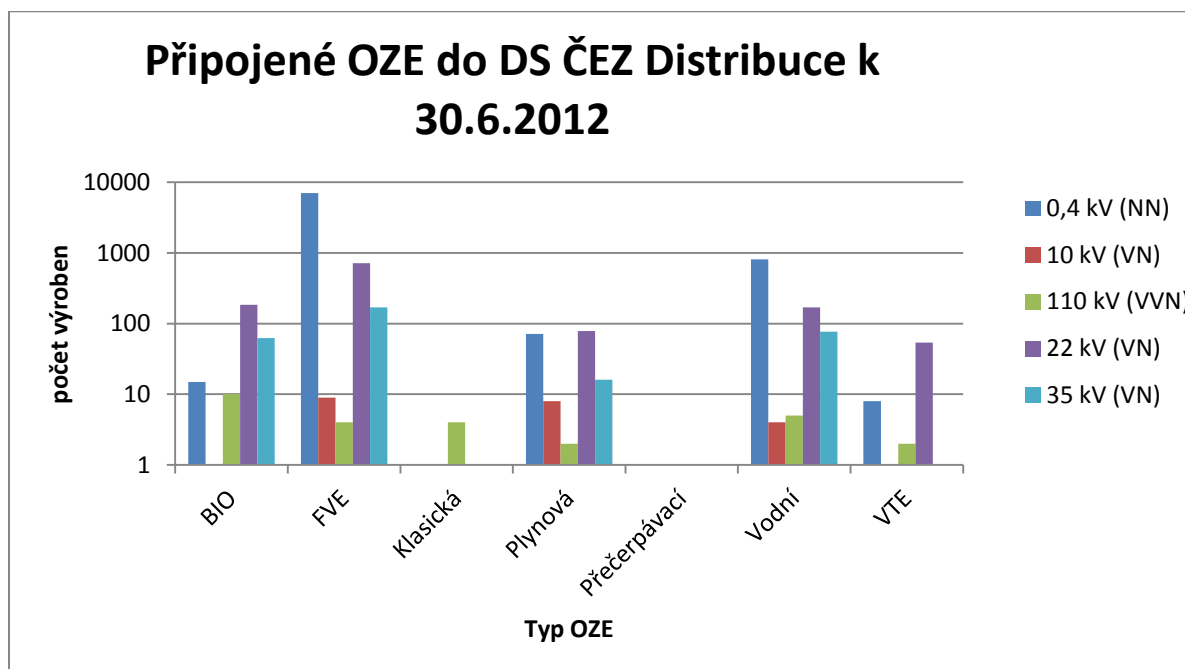
Ohledně informace o množství vyrobené elektřiny, uvádím zde příklad pro rok 2009 v GWh. Nejvyšší množství tvořily vodní elektrárny, které činily 2430 GWh, produkce zde stoupla oproti předchozímu roku o 400 GWh. Následuje biomasa, která měla produkci 1396 GWh, nárůst o 230 GWh. Dalším zdrojem je bioplyn, který činil 440 GWh roční produkce, dvojnásobek v porovnání s předchozím rokem. Větrné elektrárny činily výrobu o 288 GWh více, spalovny odpadů o 11 GWh a fotovoltaické elektrárny zaznamenaly dokonce sedminásobný nárůst produkce na 89 GWh. A i přes tento velký nárůst tvoří stále minimální podíl ve výrobě elektřiny.

1.1.2. Připojení OZE do distribuční sítě v ČR

V této kapitole uvádím počet připojení obnovitelných zdrojů energie do Distribuční sítě (dále jen DS) ČEZ Distribuce v roce 2012 k 31.6. Připojené výroby jsou uvedeny do DS v hladinách 35 až 0,4 kV. Následující Graf 1-4 znázorňuje dané hodnoty z tabulky (Tabulka 1.2), kde je patrné kolik výroben bylo připojeno a do jaké napěťové hladiny, k datu 30. 6. 2012. Graf 1-4 má logaritmické měřítko pro svislou osu z důvodu vysokého počtu připojených fotovoltaických elektráren na hladinu 0,4 kV. Celkový součet všech připojených elektráren do sítě činil 9497 z toho 83,3% tvořilo solární elektrárny. Celkový součet všech fotovoltaických výroben do DS činil 7914.

Popisky řádků	BIO	FVE	Klasická	Plynová	Přečerpávací	Vodní	VTE	Celkový součet
0,4 kV (NN)	15	7017	1	71		806	8	7918
10 kV (VN)	1	9		8		4		22
110 kV (VVN)	10	4	4	2	1	5	2	28
22 kV (VN)	185	715	1	78	1	170	54	1204
35 kV (VN)	62	169		16		77	1	325
Celkový součet	273	7914	6	175	2	1062	65	9497

Tabulka 1.2 Připojené OZE do DS ČEZ Distribuce a.s na hladinách VVN, VN a NN



Graf 1-4 Připojení OZE do DS ČEZ Distribuce a.s k 30. 6. 2012

V příloze uvádím tabulku s grafem (Graf 10-1), která značí průběh činného výkonu dodávky k 1. 10. 2011 do DS ČEZ Distribuce. Tabulka 10.1 v příloze je rozdělena na 9 částí. Každá z částí značí jinou oblast fotovoltaických elektráren. Rozdělení elektráren je na oblasti Morava, Východ, Střed a Západ Čech. Každá část je dále rozdělena podle součtu instalovaného výkonu více solárních elektráren na více částí. Tabulka je rozdělena časově, kde se každou čtvrt hodinu odečetla hodnota vyrobeného činného výkonu v kW. Je přiložena pouze ta část, kdy solární elektrárny vyráběly a dodávaly činný výkon. Na odečtených hodnotách je zřejmé, že první dodávaly výkon do DS elektrárny instalované na Moravě (s ohledem na geografickou polohu). Graf zobrazuje závislost výkonu na čase. Je vidět rozdílná výroba činného výkonu podle součtu instalovaného výkonu elektráren na daných územích ČR.

1.1.3. Shrnutí

Zásady pro podporu výroby energie z OZE bychom mohli popsat v několika bodech. Výrobce elektřiny z OZE má právo připojit na distribuční či přenosovou soustavu svůj zdroj energie. Provozovatel distribuční soustavy již není povinný tuto elektřinu vykoupit za stanovenou minimální cenu, kterou stanovuje Energetický regulační úřad (ERÚ) – tuto roli převzal od 1. 1. 2013 operátor trhu s elektřinou (OTE). V současné době je pro všechny vyspělé státy prioritní podpora výroby energie z obnovitelných zdrojů, především z důvodu ochrany životního prostředí, sociální a hospodářské soudržnosti. I přes stále rostoucí podíl výroby energie z OZ můžeme konstatovat, že potenciál OZE není stále plně využitý a zaostává za používáním fosilních paliv.

2. Popis zvoleného obnovitelného zdroje

V této části diplomové práce se zaměřím na jeden typ obnovitelného zdroje v České republice. Jedná se o solární energii resp. využívání sluneční energie pomocí fotovoltaických panelů (dále jen FV panelů). Na tento typ zdroje energie z obnovitelných zdrojů se zaměřuji především proto, že bude použit jako hlavní zdroj u návrhu Off – grid systému.

2.1. Solární energie

Mezi alternativními zdroji energie (OZE), představuje solární energie významnou roli. Získání elektrické energie přímo ze slunečního záření je z hlediska ochrany životního prostředí nejčistší a ve své podstatě nevyčerpatelné. Sluneční energie, která dopadá na Zemi, několikanásobně převyšuje celkovou spotřebu energie světa. Proto bychom se měli snažit o co nejefektivnější využití této energie a hledat možnosti, jak využít větší část této energie. Je stále potřeba zdokonalovat a zvyšovat účinnost zařízení, které jsou již k dispozici. Na konci roku 2009 tvořil celosvětový instalovaný výkon 21 GW. Z toho asi 90% připadá na Německo, Japonsko a USA. Do roku 2015 se počítá s instalovaným výkonem až 72 GW.

Dopadající záření je z větší části zachyceno a zároveň atmosféra brání jeho okamžitému vyzáření zpět do prostoru tzv. skleníkový efekt. Energie z dopadajícího záření je spotřebována pro fotosyntézu, na ohřev atmosféry a ohřevu vody. Dopadem na Zemi se záření přeměňuje z ultrafialového na infračervené, tzn. na jinou vlnovou délku, které je zpět vyzářeno do vesmíru. Jinak by se naše planeta stále oteplovala. Dochází k rovnováze mezi pohlceným slunečním zářením a tepelným vyzářením Země. Bohužel tuto rovnováhu narušujeme spalováním fosilních paliv a vypouštěním do ovzduší oxid uhličitý CO_2 , který je jedním z plynů způsobujících skleníkový jev. Oxid uhličitý pohlcuje tepelné záření Země a vrací ho zpět. Proto dochází k pomalému růstu teploty na naší planetě, z důvodu většího příjmu tepla než jeho vyzáření.

Stále ve větší míře dokážeme lépe využívat sluneční záření ve svůj prospěch. Sluneční záření lze využít v několika různých formách energie, kterými jsou tepelné (vytápění bytů, dodávka teplé vody, pece), chemické (rozklad vody) a elektrické (fotovoltaický systém) formy energie.

Sluneční energie se dá využít dvěma způsoby:

- **Pasivní metoda** – můžeme ji popsat jako přeměnu slunečního záření, které proniká skleněnými plochami do domů, přeměňuje se na infračervené záření a my ho vnímáme jako teplo. Pokud stavby tuto energii dokážou využívat úmyslně, pak jde o pasivní využívání sluneční energie. Nevýhodou tohoto systému je v letních měsících větší příjem energie než její spotřeba v daném místě.
- **Aktivní systém** – tyto systémy dokážou částečně oddělit dobu energetických zisků od jejich skutečného využití. Můžeme tento systém rozdělit do dvou podsystémů a to na solární systémy pro výrobu tepla (fototermické kolektory) a systémy pro výrobu elektřiny (FVE kolektory).

Dále můžeme sluneční záření rozdělit na dvě složky dle dopadu na povrch Země.

- **Přímé záření** – toto záření lze koncentrovat pomocí zrcadel nebo čočkami. Záření nemění směr díky jasné a bezmračné obloze.
- **Difuzní záření** – neboli záření oblohy, kdy dochází k rozptylu přímého záření v mracích a v atmosféře. Záření přichází ze všech směrů na povrch Země a nelze koncentrovat.

2.1.1. Princip získání energie ze slunečního záření

Elektřinu můžeme získávat ze slunečního záření přímým a nepřímým způsobem.

- **Přímá přeměna** – využívá FVE jevu, kdy se v určité látce působením světla uvolňují elektrony. Tento jev může nastat v určitých polovodičích (např. křemík, germanium, selen, selenid kadmia aj.) Jedná se o FVE články.
- **Nepřímá přeměna** – využívá termočlánek, který je zdrojem proudu. Termočlánek využívá principu termoelektrického jevu (tzv. Seebeckův jev). Jde o přímou přeměnu rozdílu teplot na elektrické napětí a naopak. Na dvou drátech, na koncích navzájem spojených, vzniká elektrické napětí, pokud mezi těmito konci je rozdíl teplot. Účinnost termočlánku závisí na vlastnostech materiálu obou kovů a na rozdílu teplot mezi studeným a teplým spojením.

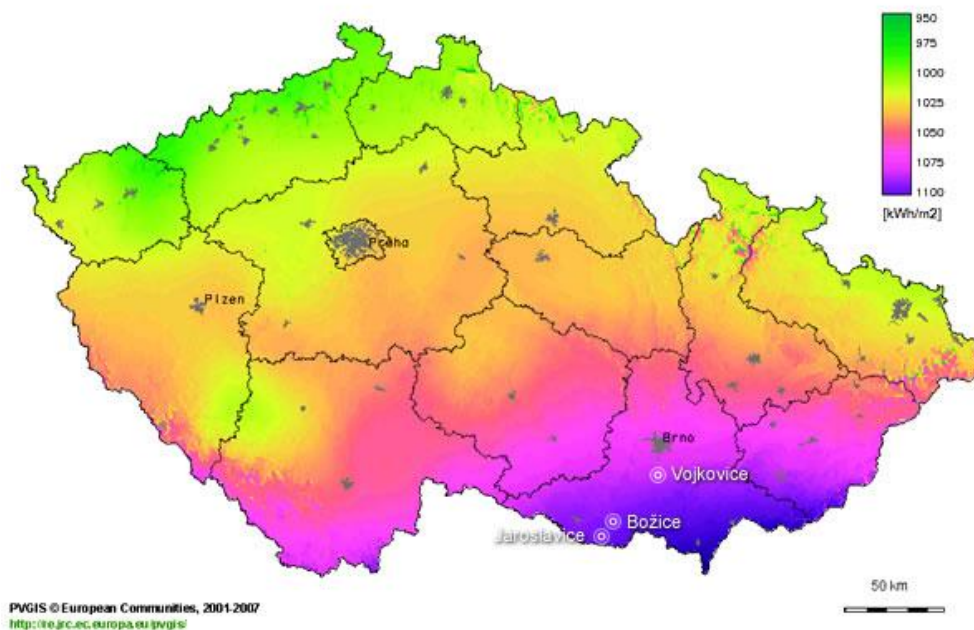
Jelikož solární systém nabízí časově neomezenou výrobu elektrické energie, jsou zde důvody, proč je potřeba tuto technologii stále zdokonalovat a vyvíjet. Fotovoltaické elektrárny by se měly v budoucnu stát hlavním přínosem elektrické energie z obnovitelných zdrojů.

Využíváním solární energie neznečišťujeme ovzduší emisemi jako fosilními palivy. Z ekologického hlediska by měla být solární energie prvkem k trvale udržitelnému energetickému systému pro minimální dopad na životní prostředí.

2.1.2. Využití solární energie v ČR

Česká republika má dobré podmínky pro využití slunečního záření. I přesto, že jsme malý stát, jsou zde rozdílné podmínky v určitých oblastech naší republiky. Tyto rozdílné klimatické podmínky jsou především dané nadmořskou výškou. V průběhu roku nám dopadne na každý metr čtvereční 1000 kWh. Průměrná doba slunečního záření je v naší republice brána v rozmezí 1300-1800 hodin ročně.

FVE systém je schopen z 1 kW vyrobit 700-1000 kWh elektrické energie za rok. Množství slunečního záření je velmi rozdílný v ročních obdobích a má výrazný vliv na hodnocení ekonomické efektivity solárního systému.



Obrázek 2—1 Atlas podnebí České republiky, Vydal ČHMÚ [6]

Zobrazená mapa České republiky vykazuje sluneční svit na našem území v rozsahu 950 – 1100 kWh/m². Z obrázku (Obrázek 2—1) je patrné, že podmínky pro využití slunečního záření je nejlepší na jihu Moravy, kde záření dosahuje nejvyšších hodnot. Solární energii lze u nás využít k přeměně na teplo, jak k ohřevu teplé užitkové vody, tak např. vody v bazénech a k dotápní objektů. I přes menší procento účinnosti můžeme pozorovat vysoký nárůst počtu nově vzniklých slunečních (fotovoltaických) elektráren.

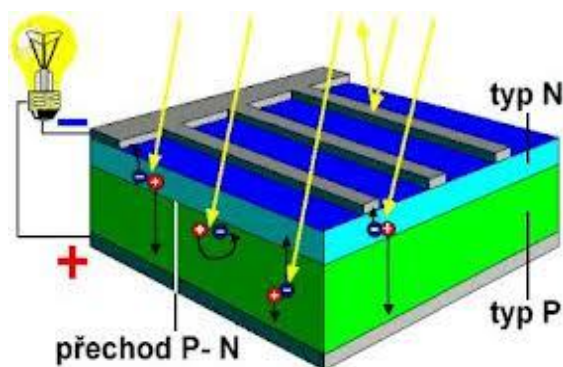
2.2. Základní část fotovoltaického panelu

Fotovoltaické panely využívají přímou přeměnu solárního záření pro výrobu elektrické energie. Základní část FV systému, která se využívá pro výrobu sluneční energie, je FVE článek. Ten je poté spojován do známých FVE panelů a z nich jsou tvořeny elektrárny od malých (3 kW – rodinné domy), až po velké (~38 MW – Ralsko) využití výkonů.

2.2.1. Fotovoltaický článek

Fotovoltaický, nebo také solární článek je velkoplošná dioda s alespoň jedním P-N přechodem. Při dopadu vzniká elektrické napětí, využívající fotoelektrický jev. Pro výrobu je používán polovodičový materiál, většinou nejrozšířenějším materiálem křemík (oxid křemičitý).

Jedná se o velkoplošnou diodu alespoň s jedním P-N přechodem. Dopadne-li světelný tok na



Obrázek 2—2 P-N přechod [10]

rozhraní P-N, předá svou energii látce a některé elektrony se dostanou na vyšší energetickou hladinu. Vzniknou po nich „díry“, které se chovají jako kladný náboj. Oba tyto náboje se od sebe oddělí v důsledku rozdílného potenciálu a elektron bude přitahován opačně nabitým směrem. Pokud na článek dopadá proud světla, je těchto nábojů mnoho a na článku vzniká napětí. Při uzavřeném

elektrickém obvodu jím protéká stejnosměrný proud, který je úměrný velikosti plochy solárního článku a intenzitě dopadajícího světelného toku. Na obrázku (Obrázek 2—2) je zobrazen řez solárním článkem s polovodičem typu P a N. Napětí, které se vytvoří na přechodu P-N je kolem 0,5 V a to je velmi málo pro další využití. Proto se články zapojují za do série, paralelně nebo sério-paralelně. Tím získáme dostatečné napětí, které je použitelné v různých systémech. Běžně se používají sestavy se jmenovitým napětím 12 nebo 24 V. Velikost článku se pohybuje zhruba v rozměrech 125mm x 125mm. Tloušťka plátku je 0,2-0,35 mm z křemíku s monokrystalickou, multikrystalickou nebo se také vyrábí články z polykrystalické struktury. Energetická účinnost solárního článku se podle použité struktury mění. V nynější době se pohybuje účinnost článku od 13% do 17% a jsou zapojovány ve výkonech od 10 až 315 W podle výrobce.

V současnosti je nejpropracovanější technologií považován solární článek, který je založen na bázi krystalického křemíku s monokrystalickou strukturou.

- **Monokrystalická struktura** – zabarvení článku mají sytě modrou až černou. Obvyklý tvar článku je čtvercový se seříznutými rohy, takže tvar je osmihranný. Ve vrchní části je patrná síť kovových kontaktů (mřížka sběrnic). Energetická návratnost článku je kolem 2,7 roku. Výhodou je jeho vyšší produkce elektrické energie v letních měsících s optimálním náklonem. Články s touto strukturou dosahují účinnosti až 19%.
- **Polykrystalická struktura** – tyto solární články jsou jasně modré a mají výraznou krystalickou strukturu, taktéž s viditelnými kovovými vodiči. Jejich výhodou je nižší cena, která ale vede k nižší účinnosti, než monokrystalická struktura, která má účinnost vyšší. Výhodou je snížení energetické návratnosti na dobu cca 2,2 roku. S touto strukturou mají panely větší produkci elektrické energie během zimního období. V letních měsících je produkce nižší.

Nelze tedy jednoznačně říci který FV panel s danou strukturou je z hlediska produkce elektrické energie lepší.



Obrázek 2—3 Monokrystalický křemíkový Solární článek [11]

Na článku vznikají ztráty, které vznikají odrazem světla od povrchu článku. Pro snížení těchto ztrát se povrchy zdrsňují nebo pokrývají antireflexní vrstvou. Další ztráty mohou vznikat na odporu jednotlivých vrstev.

Nevýhody:

Vysoká cena solárních článků
Průběžné čištění panelů
Závislost na ročním období
Nízká doba ročního průměrného záření

Výhody:

Vzrůstající účinnost článku
Neprodukují škodlivé látky (emise CO₂)
Nevytvářejí hluk
Jsou recyklovatelné

2.2.2. Fotovoltaický panel

Slouží k přeměně slunečního záření na elektřinu. Jeho životnost je udávána v rozmezí 20-30 let. Proto se v uplynulých letech aktuálně hovoří o jejich recyklaci a následně dalším využití křemíku. V této době činí množství solárního odpadu v Evropě asi 3800 tun, což je relativně málo. Ale se stále větším nárůstem FVE se počítá do roku 2020 s odpadem o hodnotě téměř 10x větší.

Při instalaci FV panelů je jejich ideální sklon v rozmezí 35 – 49°. Pokud bychom instalovali panely při úhlu naklonění 35°, dostali bychom větší produkci v letních měsících asi o 2% a v zimním období nižší produkci elektrické energie zhruba o 3%. Naopak při sklonu FV panelů při 49° dostáváme asi o 2% nižší výrobu v letních měsících, ale v zimních měsících je produkce až o 5% vyšší. Je proto lepší instalovat panely se sklonem 49°, z důvodu větší produkce v zimě, kdy solární panely využíváme při celoročním provozu. Sklon panelů nad či pod touto hranicí stupňů je kontraproduktivní a pouze ztrácíme výkon. Například kolmo instalované panely dosahují až 30% ztráty výkonu v letním období. Nevýhodou letních měsíců je rostoucí teplota vzduchu. S tou klesá účinnost FV panelů, protože teplota jejich solárních článků stoupá s teplotou okolí. Velice důležité je to, aby panely byly orientovány na jih. Pokud není jinak možno tak na jiho-východ či jiho-západ. Jiné varianty s sebou přinášejí opět snížení výkonu. Dá se také použít automatika otáčení panelů (tracker) směrem ke slunci, ale při malé ploše panelů se tento systém ekonomicky nevyplatí. Navíc automatika potřebuje ke své práci také nějakou elektrickou energii, a proto bych se přiklonil k názoru, že tento způsob je v našich podmínkách zbytečný.

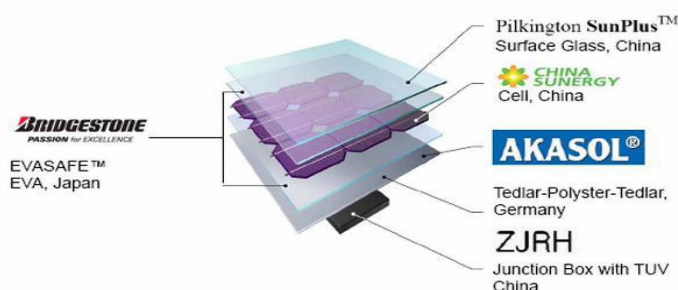
Porovnání FV panelů dvou různých struktur fotovoltaického článku.

Polykrystalická struktura		Monokrystalická struktura	
Technické parametry		Technické parametry	
Jmenovitý výkon	180 W (+-5%)	Jmenovitý výkon	180 W (+-5%)
Účinnost FV článků	12 - 15%	Účinnost FV článků	15 - 17%
Efektivita panelu	12%	Efektivita panelu	14%
Rozměry (DxŠxV)	1677 x 874 x 35 mm	Rozměry (DxŠxV)	1580 x 808 x 35 mm
Hmotnost	15,5 kg	Hmotnost	17 kg
Nominální napětí	24,2 V	Nominální napětí	36 V
Nominální proud	7,45 A	Nominální proud	5,0 A
Max. napětí systému	850 V	Max. napětí systému	1000 V
Počet panelů v sérii	27	Počet panelů v sérii	22
Garance výkonu	122 Wp/m ²	Garance výkonu	140 Wp/m ²

Tabulka 2.1 Porovnání dvou struktur FV článku

2.2.3. Složení panelu

Solární panel se pro neobornou část populace jeví jako jednoduché zařízení, avšak opak je pravdou. Je velice důležité, s jakou přesností jsou jednotlivé části panelu vyráběny a jak kvalitní suroviny jsou použity. Všechny tyto a další faktory jsou významné pro další zlepšování účinnosti panelu, doby životnosti a časové stability panelu. Na obrázku (Obrázek 2—4) jsou zobrazeny části, které jsou obsaženy ve FV panelu dle skutečné podoby.



Obrázek 2—4 Složení materiálu solárního panelu [14]

Základem solárního panelu, jak již bylo uvedeno, je FV článek, který je pokryt z vrchní i spodní části zapouzdřovací fólií z materiálu EVA (Ethylene Vinyl Acetate – Etylén Vinyl Acetát).

Tato fólie má velmi vysokou čistotu s indexem lomu stejnou jako sklo, aby nedocházelo k odrazům a ztrátám výkonu. Na vrchní části fólie je sklo, které propouští paprsky a má vysokou pružnost. Koeficient prostupnosti skla je 91,4%. Oproti tomu spodní část je pokryta a chráněna třívrstvou krycí fólií, tedlar- polyester-tedlar, s vysokou odolností proti odtržení. Ta zabraňuje, aby nedocházelo k odlamování jednotlivých vrstev od sebe

v důsledku stárnutí. Veškeré komponenty jsou usazeny do hliníkového rámu, který je zevnitř v drážce opatřen těsněním z pryže či silikonu. Toto těsnění zabraňuje vniku vodě a plynům, ale také případně tlumí mechanické nárazy při instalaci.

2.2.4. Energetická návratnost FV panelu

Energetická návratnost definuje čas, za který solární panel vyprodukuje tolik energie, kolik bylo spotřebováno pro jeho výrobu. Pro stanovení této doby energetické náročnosti (anglicky Energy Pay-Back Time – EPBT) je nutné zahrnout veškerou vstupní energii potřebnou pro celý řetězec výroby fotovoltaického systému. EPBT můžeme definovat vztahem:

$$EPBT = E_{input} / E_{saved} \quad (2.2.4.1)$$

Kde E_{input} definuje veškerou energii vstupující během celého životního cyklu panelu. Zahrnuje energii potřebnou pro výrobu, instalaci, energii spotřebovanou při vlastním provozu a energii potřebnou pro recyklaci.

E_{saved} je průměrná roční vygenerovaná elektrická energie solárním panelem. Údaje se mohou lišit podle závislosti na sklonu plochy a dle různých zdrojů. Níže uvedená tabulka (Tabulka 2.2) udává dvojí sluneční záření při optimálním sklonu plochy 35°. Dále obsahuje energetickou náročnost pro výrobu ingotu, článku a panelu.

Sluneční záření 850 kWh/m ²				
	ingot	článek	panel	Celkem [rok]
proces	1,27	0,44	0,31	2,02
materiál	2,59	0,03	0,58	3,2
celkem	3,86	0,47	0,89	5,22
Sluneční záření 1150 kWh/m ²				
proces	0,94	0,32	0,23	1,49
materiál	1,92	0,02	0,43	2,37
celkem	2,86	0,34	0,66	3,86

Tabulka 2.2 Energetická náročnost

Energie vložená do výroby fotovoltaických prvků se na našem území vrátí do cca 5,22 respektive 3,86 let, dle rozdílného slunečního záření. V tabulce není zahrnuta energie potřebná pro instalaci, která by návratnost zvýšila o cca 3/4 roku.

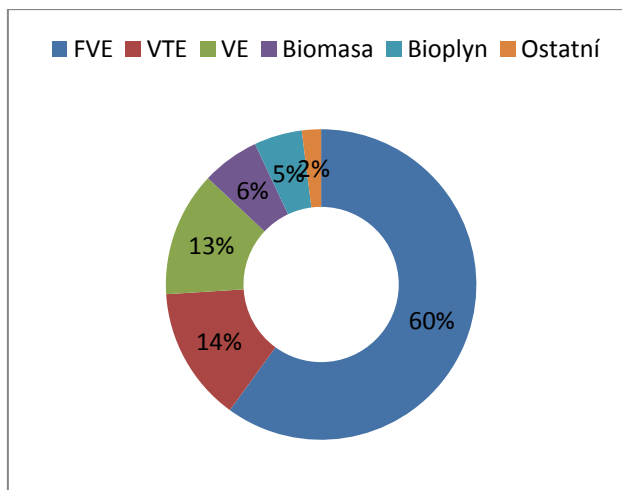
3. Hodnocení provozu

V důsledku rozsáhlého připojování OZE do distribuční sítě, především pak FVE vedlo v r. 2011 k přechodnému ukončení připojování nových zdrojů fotovoltaických tak větrných elektráren pro celou ČR. Právě nárůst instalovaného výkonu OZE rozptýlené výroby v DS byl hlavním důvodem plošně vyhodnotit vlivy jejich provozu na DS. Tyto rozptýlené zdroje jsou špatně predikovatelné a z hlediska výroby energie a mají vliv na regulaci napětí v soustavě. Je nutné tyto zdroje v některých případech doplnit o regulaci jalového výkonu, tak i činného výkonu. Přenos jalového proudu zvyšuje úbytky napětí a činné ztráty v síti. Pokud se vyrobí jalový proud přímo v blízkosti induktivního spotřebiče, sníží se velikost zdánlivého proudu v přírodních vedeních. Výroba jalové energie v blízkosti nebo přímo v místě spotřeby vede ke snížení či zcela potlačení jalové složky proudu v sítích pomocí tzv. kompenzace účinníku. Pro kompenzaci se používají kondenzátory, synchronní kompenzátory a kondenzátorové baterie (statické). Snažíme se tedy o snížení celkového jalového proudu a dodržení neutrální hodnoty účinníku u FVE v rozmezí $\pm 0,95 - 1$, kde \pm značí kapacitní či induktivní účinník. Následující grafy v této kapitole a grafy přiložené v přílohách jsou z analýzy provozu OZE na území ČEZ Distribuce, a.s, na hladinách vn a vvn, pro rok 2011. Data neobsahují měsíc leden z důvodu malého množství potřebných dat pro jeho vyhodnocení.

3.1. Analýza výkonů OZE

Hodnocení a porovnání bylo prováděno na instalovaném a maximálním dosaženém souborém výkonu z OZE. Za Obnovitelné zdroje energie byly brány všechny jednotlivé typy zdrojů. Dalším bodem bylo porovnání dvou daných výkonů na dvou hladinách vn a vvn, kde byl znatelný rozdíl u typu FVE a VTE (Větrné elektrárny).

Celkový instalovaný výkon z OZE pro rok 2011 byl 1343,3 MW, do něhož bylo zahrnuto 1172 výroben s největším zastoupením FVE v počtu 687 ks a výkonem 812,5 MW.



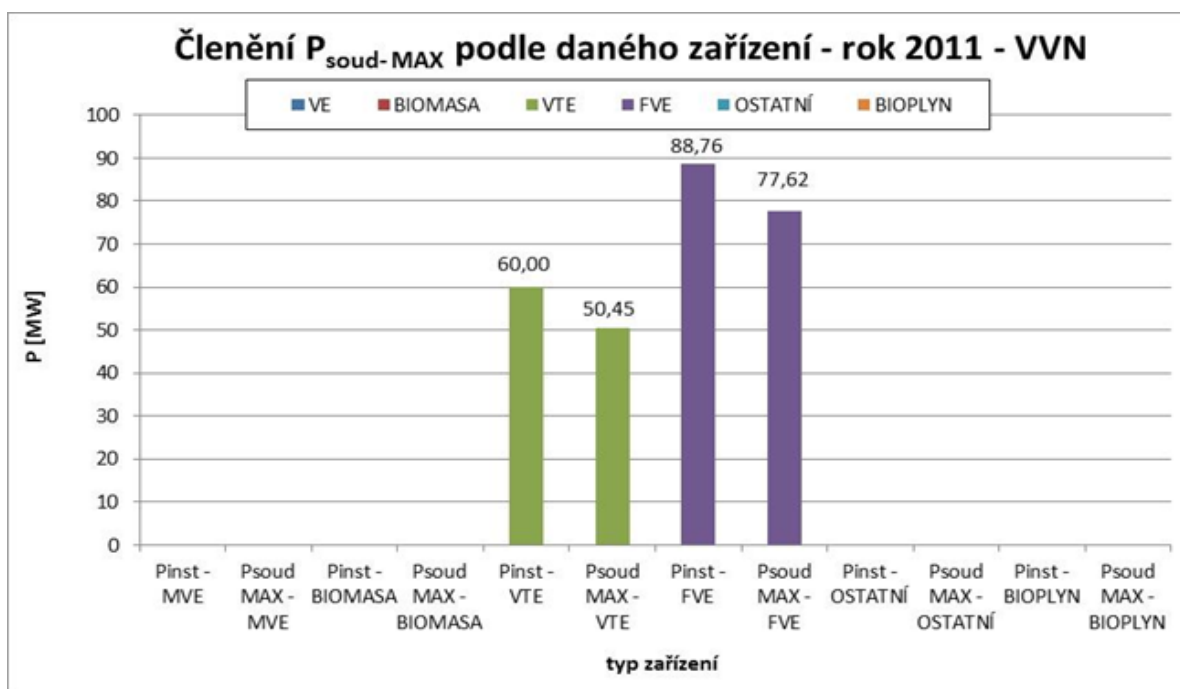
Graf 3-1 Rozložení výkonu OZE dle jednotlivých typů

Na grafu (Graf 3-1) je uvedeno rozložení do jednotlivých typů elektráren z OZE pro zmíněný celkový instalovaný výkon. **Rozdělení dle výkonů:**

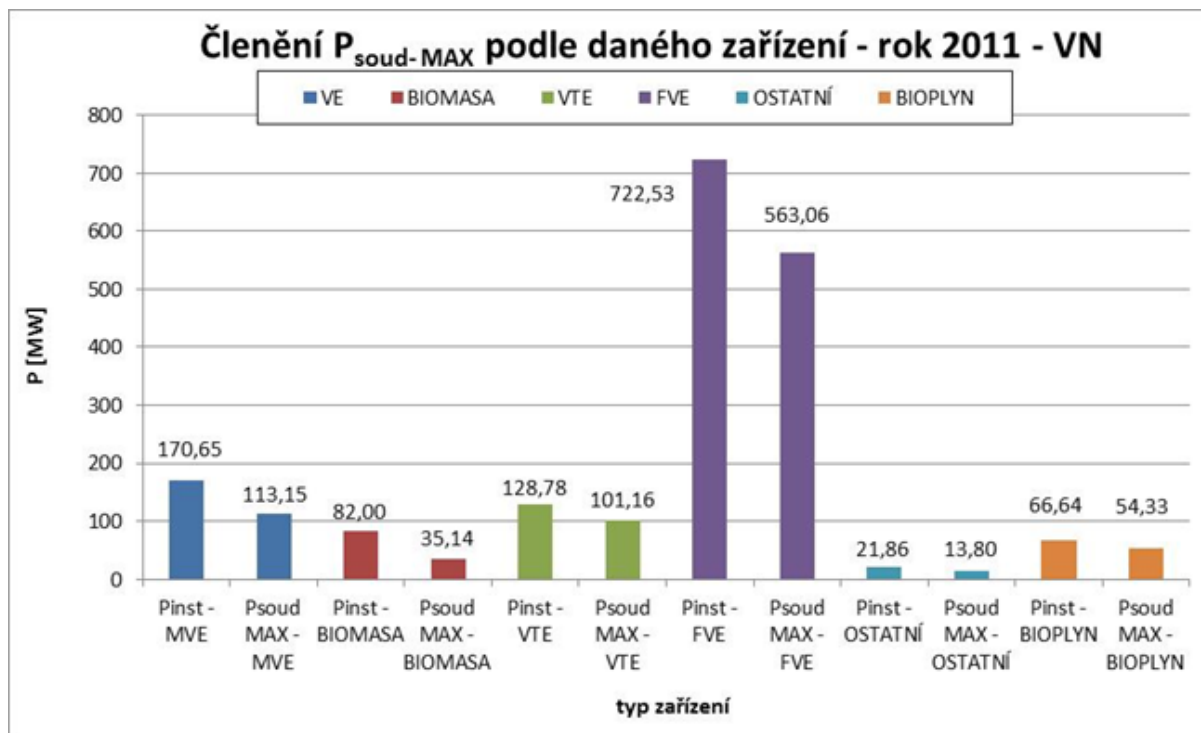
FVE	VTE	VE	Biomasa	Bioplyn	Ostatní zdroje
812,5 MW	188,8 MW	170,9MW	82 MW	67,2 MW	21,9 MW

Tabulka 3.1 Rozdělení OZE dle výkonů

Na následujících dvou grafech (Graf 3-2) a (Graf 3-3), jsou porovnány instalovaný a maximální dosažený soudobý výkon na hladinách vvn a vn. Na hladině vvn jsou zobrazeny pouze velké výroby FVE a VTE, malé elektrárny OZE se zde neprojeví. Na hladině vn jsou všechny typy výroben OZE. FVE mají podíl na hladině vn 89,1% a na hladině vvn 10,9% instalovaného výkonu. Instalovaný výkon převyšuje soudobý výkon u všech typů OZE.



Graf 3-2 Porovnání instalovaného a max. soudobého výkonu na hladině vvn

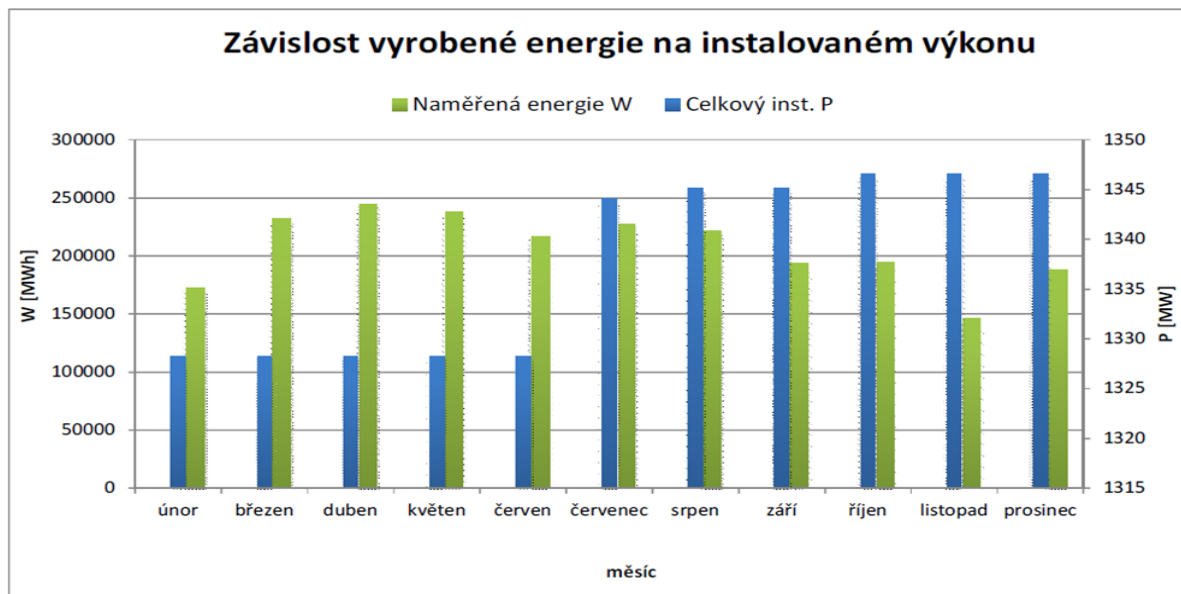


Graf 3-3 Porovnání instalovaného a max. souběžného výkonu na hladině vn

3.2. Činná výroba

V následujícím grafu (Graf 3-4) jsou uvedena hodnocení činné výroby. Je zde patrný nárůst instalovaného výkonu z OZE na přelomu červen – červenec kdy došlo ke zvýšení o 20 MW.

Na uvedeném grafu (Graf 3-4) je zobrazena celková vyrobená energie za každý měsíc spolu s instalovaným výkonem pro všechny typy OZE. Nejvyšší vyrobené energie se dosáhlo v dubnu (zde je patrný vliv nižší teploty na účinnost FV panelu), zatímco nejmenší výroby v listopadu. Chybí zde první měsíc leden, z důvodu nedostatku dat.

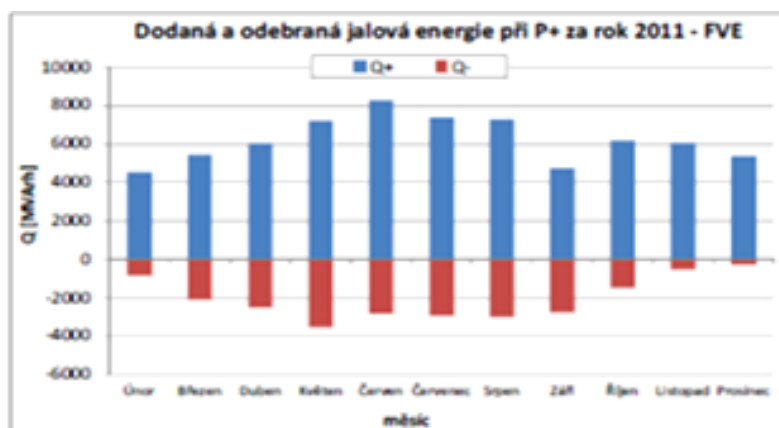


Graf 3-4 Velikost vyrobené energie v závislosti na instalovaném výkonu

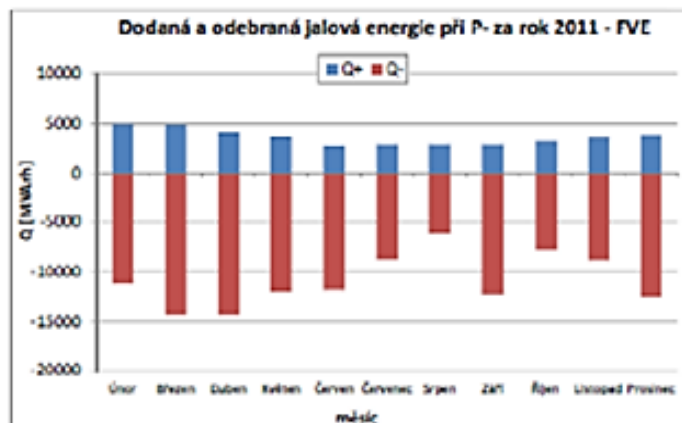
3.2.1. Činný výkon

Pro hodnocení jalové energie lze činný výkon popsat jako vyráběný nebo dodávaný výkon z distribuční sítě. První graf (Graf 3-5) zobrazuje hodnocení jalové energie při dodávce činného výkonu. Následující graf (Graf 3-6) je při opačném stavu, kdy dochází k odběru činného výkonu.

Uvádím zde pouze FVE, jelikož u těchto zdrojů dochází oproti ostatním zdrojům k největší dodávce jalového výkonu do DS při malé dodávce činného výkonu např. v době po východu slunce. Pokud dochází k odběru činného výkonu, dochází také k největším odběrům/dodávkám jalového výkonu u FVE. To může vést k problémům s regulací jalového výkonu v předávacích místech.



Graf 3-5 Dodávka a odběr jalové energie při dodávce činného výkonu u FVE



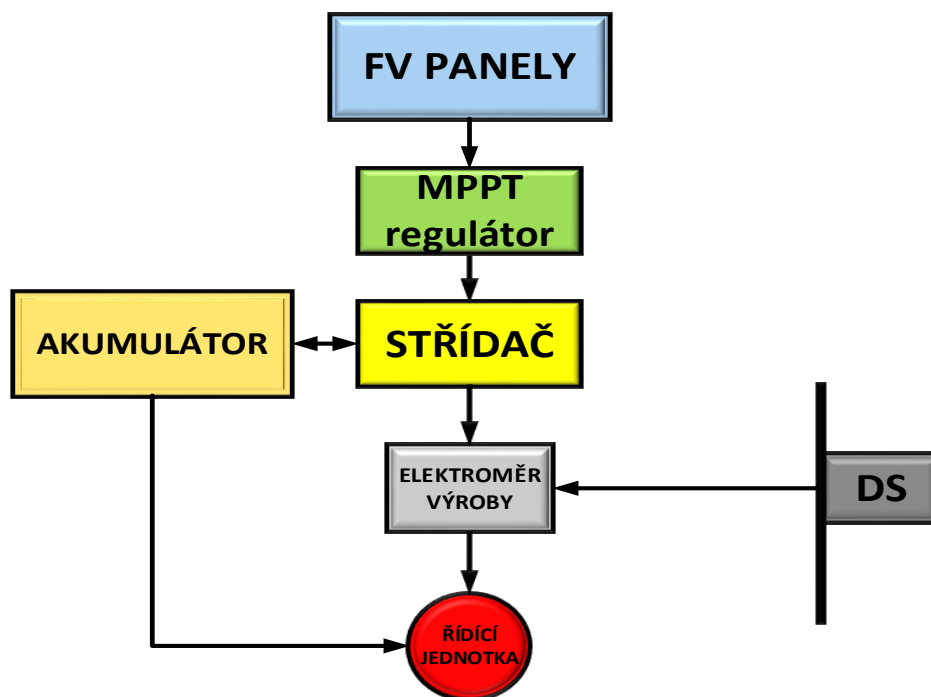
Graf 3-6 Dodávka a odběr jalové energie při odběru činného výkonu u FVE

3.3. Zhodnocení

Při maximálním dosaženém soudobém výkonu dochází ke snížení odběru v předávacím místě, resp. ke snížení toku přes napájecí transformátor. Důsledkem může být v některých případech otáčení směru toku výkonu tedy přetoky činného výkonu na transformátorech vvn/vn na vývodech vn a na distribučních transformátorech. Z důvodu kolísání napětí je na hladině nn (maximální výroba v době minimálního odběru) v některých lokalitách minimální kapacita pro další připojení rozptýlených výroben. FVE vyrábějí na našem území kolem 900 – 1100 hodin ročně a FVE jsou ve většině případů provozovány s malým činným výkonem, díky němuž nemusí být udržen neutrální účinník na požadovaných hodnotách. Z důvodu nízkého činného výkonu nemůžeme bilanci jalového výkonu zanedbat a k FVE musíme instalovat vhodná kompenzační zařízení.

4. Off-Grid Systém

Jedná se o praktickou část, kde popisuji Off-grid systém a provádím konkrétní návrh, což je hlavním tématem mé diplomové práce.

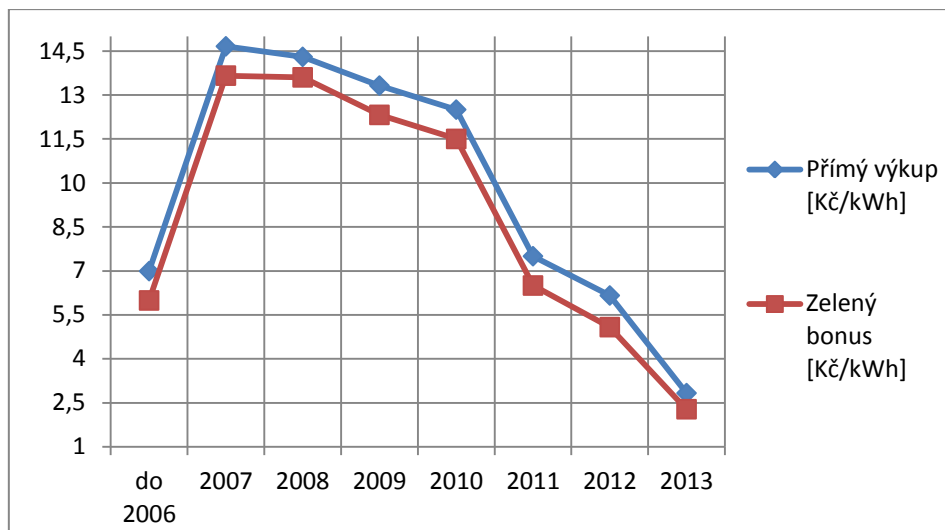


Obrázek 4—1 Topologie Off - grid systému

Od počátku roku 2011 výkupní ceny elektřiny výrazně klesly. Jedním z důvodů byla i hrozba přetížení přenosové a distribuční soustavy v důsledku velké instalace FVE do sítě. Dalším důvodem byl také pokles pořizovacích nákladů FVE. Proto se nyní návratnost systému může pohybovat kolem 10-20 let. Samozřejmě návratnost je dána velikostí systému a daných výkupních cen elektřiny. Přesto se domnívám, že Off-grid systém bude mít v blízké době své uplatnění.

Rok uvedení do provozu	Přímý výkup [Kč/kWh]	Zelený bonus [Kč/kWh]
do 2006	6,99	5,99
2007	14,66	13,66
2008	14,3	13,6
2009	13,32	12,32
2010	12,5	11,5
2011	7,5	6,5
2012	6,16	5,08
2013	2,83	2,28

Tabulka 4.1 Vývoj výkupních cen slunečních elektráren



Graf 4-1 Vývoj výkupních cen FVE, dle tabulky 4.1

Off-grid systém lze obecně chápat jako soběstačný systém, který je nezávislý na dodávce elektrické energie z distribuční sítě (dále jen DS) např. na odlehlých místech. Jde vlastně o to, že celý systém dodává do objektu elektrickou energii pro spotřebiče pracující jak na stejnosměrný, tak i na střídavý proud.

Existují dva různé způsoby, jak tento systém instalovat.

- 1) Prvním způsobem je, že distribuční síť je stále připojena k odběrnému místu a v případě potřeby je stále k dispozici. Při dobrém počasí v běžném stavu spotřeby budovy je objekt soběstačný a neodebírá elektrickou energii z distribuční sítě. Distribuční síť tvoří jakousi pojistku při možné poruše jednotlivých komponent či špatnému počasí. Lze tedy říci, že tento systém není zcela jednoznačně považován za ostrovní systém, ale mohl by být nazván jako záložní. Pokud OZE vyrobí více energie než je objekt schopen spotřebovat a je spojen s DS, lze tuto nespotebovanou energii do sítě dodat nebo ji lze uchovávat v akumulátorových bateriích různých kapacit pro pozdější využití.
- 2) Druhý případ je již zcela bez distribuční sítě (tzv. ostrovní systém), která není např. v dané oblasti k dispozici. To se může týkat rozvojových zemí, ale také ostrovů nebo odlehlých lokalit, ke kterým není zavedená distribuční síť. Tento systém se dimenzuje na spotřebu v zimním období. V tomto systému je potřeba využití dalšího nezávislého zdroje, jakým může být např. diesela agregát.

Jako zdroj pro výrobu elektrické energie jsem vybral fotovoltaický systém, který patří do skupiny obnovitelných zdrojů energie. Budu se zabývat i Mikro-kogenerační jednotkou, která bude použita jako druhý „nezávislý“ zdroj. Pro tyto varianty provedu technickou-ekonomické

hodnocení. Navržený Off-grid systém bude paralelně připojen k DS, která bude využívána jako záložní zdroj především v zimním období.

4.1. Návrh umístění Off-grid systému

Celý návrh Off-grid systém a s ním spjaté komponenty navrhuji pro rodinný dům. Ten je postaven ve městě Ústí nad Labem. Jeho obytná plocha činí přibližně 100 m². Dům leží v mírném svahu, který je situovaný na jižní stranu, s rozlohou zahrady přes 2 ary. Vrchní část zahrady je ideální pro umístění FV panelů, protože zde nejsou stromy či jiné blízké objekty. Objekt je vytápěn plynovým kotlem a TUV je ohřívána elektrickým bojlerem.



Obrázek 4—2 Výřez vybraného objektu pro návrh

4.2. Analýza spotřeby elektřiny rodinného domu

Pro vlastní návrh Off-grid systému jsem analyzoval celkovou spotřebu elektrické energie objektu. Použil jsem údaje z faktury za období od 12. 2. 2011 do 8. 2. 2012. Celková spotřeba činila 7,39 MWh. V objektu jsou standardní elektrické spotřebiče, jako je spotřební elektronika, bílá elektronika, čerpadlo vody a bojler na ohřev TUV. V objektu je využíván tarif D26d z produktové sazby Akumulace 8, s jističem 3x25A. Dodavatel elektřiny je společnost ČEZ.

Spotřebiče	Příkon [W]	Provozní doba [min/den]	Spotřeba [kWh/den]
rychlovarná konvice	2200	15	0,88
lednice + mrazák	120	438	0,876
mikrovlnná trouba	1200	10	0,2
televize OCR	94	120	0,188
televize LED	94	360	0,564
notebook	35	480	0,28
boiler	2000	360	12
čerpadlo vody	1100	15	0,183
teplovodní oběhové čerpadlo	30	1440	0,72
digestoř	165	3,5	0,688
žehlička	2200	2,4	0,623
pračka	2300	3,5	0,958
myčka na nádobí	2400	5	1,4
Set-top box	20	120	0,04
stereo věž	210	30	0,105
osvětlení 15*50 W	750	120	1,5
Celkem	14 918	3522,4	21,205

Tabulka 4.2 Používané spotřebiče a jejich celková spotřeba

Na výše uvedené tabulce (Tabulka 4.2) je soupis instalovaných spotřebičů v objektu. Doba provozu je v minutách a vztahuje se k jednomu dni.

Uvedená spotřeba elektřiny daného rodinného domu (Tabulka 4.3) byla měřena od 4. 3. 2013 do 11. 3. 2013 spotřeba během jednoho týdne činila 161,5 kWh. Je zde patrný celkový rozdíl ve spotřebě, což je způsobeno ne zcela přesně danou provozní dobou spotřebičů.

Spotřeba elektřiny					
datum	hodiny	VT [kWh]	NT [kWh]	Spotřebiče v provozu	celková spotřeba [kWh]
4.3.	6:30	24 472,1	42 063,3		22,8
	18:30	24 473,7	42 068,9		
5.3.	6:30	24 477,3	42 080,9		20,9
	18:30	24 479,5	42 083,4		
6.3.	6:30	24 483,6	42 095,5	myčka	20,2
	18:30	24 485,8	42 098,3		
7.3.	6:30	24 489,1	42 110,2	pračka	20,6
	18:30	24 491,2	42 113,4		
8.3.	6:30	24 494,3	42 125,4		23,1
	18:30	24 497,1	42 129,6		
9.3.	6:30	24 501,3	42 141,5	pračka+myčka	30,1
	18:30	24 508,7	42 149,5		
10.3.	6:30	24 511,1	42 161,8		23,8
	18:30	24 516,2	42 167,7		
11.3.	6:30	24 518,7	42 178,0		
Celková týdenní spotřeba					161,5

Tabulka 4.3 Změřená spotřeba elektřiny rodinného domu

Datum	1.listopadu 2012	4.března 2013	Rozdíl
VT [kWh]	23 037,30	24 472,10	1 434,80
NT [kWh]	39 883,10	42 063,30	2 180,20
Celkem [kWh]			3 615,00

Tabulka 4.4 Spotřeba v zimním období

Z naměřených hodnot z tabulky (Tabulka 4.4) je vidět celková spotřeba během 4 zimních měsíců, která činí téměř polovinu z celkové spotřebované elektřiny během roku.

4.3. Tepelná spotřeba – tepelné ztráty objektu

Celkové tepelné ztráty objektu jsem spočítal v programu Protech. Výpočet v programu byl proveden pro objekt jednozónově, metodou zjednodušené obálky dle norem ČSN 12831 a TNI 730540. Návrh pro průměrnou vnitřní teplotu byla vzata teplota 19°C. Otopné období pro danou oblast, kde rodinný dům stojí, je 229 dní.

Pro výpočet ročních provozních nákladů jsem nejdříve vypočetl spotřebu tepla na vytápění pomocí denostupňové metody.

Nejprve se vypočte teoretická spotřeba tepla z vypočtených tepelných ztrát objektu a z normy jsem použil hodnoty pro délku otopného období. Příslušné teploty pro dané otopné období jsem dohledal v tabulce, které jsou přílohou normy. Pro zjištění skutečné spotřeby tepla je nutné respektovat účinnost komponentů použitých pro vytápění.

Vzorec pro výpočet teoretické spotřeby tepla na vytápění je:

$$Q_{VYT,teor} = 24 \cdot 3600 \cdot Q_{cm} \cdot \frac{d \cdot (t_{is} - t_{es})}{(t_{is} - t_{ev})} \cdot \varepsilon \cdot e_t \cdot e_d \quad (J) \quad (4.3.1)$$

$Q_{VYT,teor}$ – teoretická potřeba tepla na vytápění [J]

Q_{cm} – celková tepelná ztráta objektu [W]

d – počet dnů otopného období [dny]

t_{is} – průměrná vnitřní teplota objektu [°C]

t_{es} – průměrná venkovní teplota za otopné období [°C]

t_{ev} – oblastní venkovní výpočtová teplota [°C]

ε –

opravný součinitel vyjadřující vliv nesoučasnosti přírážek pro výpočet tepelných ztrát objektu [–]

e_t – opravný součinitel na snížení vnitřní teploty při přerušení vytápění [–];

e_d

– opravný součinitel na zkrácení doby provozu otopné soustavy při přerušovaném vytápění [–]

Pro výpočet skutečné spotřeby tepla je použit vzorec, kde je respektována účinnost rozvodu tepelné energie, účinnost obsluhy, respektive regulace a účinnost zdroje tepla.

$$Q_{VYT} = \frac{Q_{VYT,teor}}{\eta_R \cdot \eta_o \cdot \eta_k} \quad (J) \quad (4.3.2.)$$

η_R – účinnost rozvodu energie[–]

η_o – účinnost obsluhy(regulace)[–]

η_k – účinnost zdroje tepla [–]

$$Q_{VYT,teor} = 24 \cdot 3600 \cdot Q_{cm} \cdot \frac{d \cdot (t_{is} - t_{es})}{(t_{is} - t_{ev})} \cdot \varepsilon \cdot e_t \cdot e_d$$

$$Q_{VYT,teor} = 24 \cdot 3600 \cdot 9930 \cdot \frac{229 \cdot (19 - 4,1)}{(19 - (-12))} \cdot 0,6 \cdot 0,95 \cdot 1$$

$$Q_{VYT,teor} = 53\,800 \text{ MJ}$$

Zvolené účinnosti pro výpočet reálné spotřeby tepla pro uvažovaný objekt:

η_R	η_o	η_k
0,98	0,99	0,96

Výpočet reálné spotřeby energie pro vytápění rodinného objektu

$$Q_{VYT,kon} = \frac{Q_{VYT,teor}}{\eta_R \cdot \eta_o \cdot \eta_k} = \frac{53\,800 \cdot 10^6}{0,98 \cdot 0,99 \cdot 0,96} = 57\,763 \text{ MJ}$$

Přepočítání potřebného tepla na spotřebu plynu v metrech krychlových.

$$M_{plyn} = \frac{Q_{VYT}}{H_U} = \frac{57\,763}{35,87} = 1\,610 \text{ m}^3 \quad (4.3.3.)$$

H_U – výhřevnost paliva [MJ/m³]

Výpočet rozmezí spotřeby plynu

$$\text{Předpoklad} \Rightarrow 1 \text{ m}^3 = 10,5 \text{ kWh} \quad \text{Převod: m}^3 \text{ na kWh}$$

$$Q_{VYT,kon} = M_{plyn} \cdot 10,5 = 1\,610 \cdot 10,5 = 16\,905 \text{ kWh} = 16,905 \text{ MWh}$$

Měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen - Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Potřebná energie na vytápění [kWh]	4263	3515	3048	1933	375	0	269	1956	2969	3892

Tabulka 4.5 Potřebná energie tepla podle programu Protech

Celkové tepelné ztráty objektu podle programu jsou 9930 W. Po dopočítání dle výše uvedených vzorců vyšla teoretická spotřeba plynu 16,905 MWh. Podle faktury byla celková

tepelná spotřeba 19,566 MWh. Rozdíl pravděpodobně vznikl při použití zjednodušeného výpočtu, kdy byla brána pouze celková obálka domu a neuvažovalo se s každým obytným prostorem zvlášť.

4.4. Snížení spotřeby před vlastním návrhem

Před vlastním zařízením pro Off-grid jsem se pokusil snížit celkovou spotřebu domácnosti. Čím menší je spotřeba energie, tím menší jsou požadavky na akumulátory a výkon FV panelů.

Snížení spotřeby je především důležité pro období, kdy FV panely neprodukují tolik elektrické energie a bylo by nutné dimenzovat celý systém na větší výkon. Období se sníženou spotřebou je v zimních měsících od října do konce února. V letních měsících by byla FVE předimenzovaná a výroba elektrické energie příliš vysoká. Nevýhodou by byly značně vyšší náklady na pořízení takového systému.

Rozdělení spotřeby daného odběrného místa resp. v tomto případě rodinného domu, jsem popsal v několika následujících bodech.

- 1) Nahradíme elektřinu tam, kde se z ní vyrábí teplo.
- 2) Jde například o topení (koupelnové žebřinové topení), ohřev teplé užitkové vody. Měli bychom vyloučit používání rychlovarné konvice. Je vhodnější pračka s přívodem teplé vody. Vařit bychom měli na plynovém sporáku.
- 3) Omezit spotřebu u dlouhodobě pracujících spotřebičů. Tento bod souvisí například s ledničkou, čerpadlem vody, počítačem. Ty se nyní dají pořídit v provedení s maximální úsporou elektrické energie. Měli bychom si také dát pozor na spotřebiče, které jsou trvale pod proudem v tzv. pohotovostním režimu. Pohotovostní režim (jinak také passive standby) znamená spotřebu elektrické energie spotřebičů, které jsou vypnuté a/nebo nevykonávají svou hlavní funkci. Jako příklad je uváděna hodnota 43 TWh roční spotřeby elektrické energie všech domácností v Evropské unii. Pokud není nezbytně nutné, aby byly stále pod proudem, je nutné spotřebiče vypínat.

Spotřebiče	Spotřeba [W/h]
Stereo věž	3
Mikrovltná trouba	1,5
Myčka	0,2
Pračka	0,3
Notebook	0,1
Set-top box	3
TV LED	0,5
TV CRT	4
Celková roční spotřeba [Wh]	110376

Tabulka 4.6 Spotřebiče ve Standby režimu

4) Použít úsporného osvětlení.

V současné době se jeví jako nejlepší řešení použití LED osvětlení, které má sice stále vyšší pořizovací náklady, ale dlouhou životnost až 50 tisíc hodin.

5) Navrhnout systém takovým způsobem, aby dané spotřebiče spotřebovávaly elektřinu v době dostatku.

Tento bod se týká období od března do konce září, kdy dochází k vysoké výrobě elektřiny. Například čerpat vodu ze studně do zásobníku pro vodu v domě nebo pouštět pračku a myčku na nádobí v době dostatku proudu. Pro takovéto využití je dobré celý systém rozdělit na několik samostatných okruhů, podle priorit.

Priorita	Okruh	Spotřebiče
1	běžně pracující spotřebiče	osvětlení, PC, televize, rádio, čerpadlo na vodu, lednice
2	spotřebiče pracující při dostatku proudu	myčka na nádobí, pračka, žehlička,
3	spotřebiče pracující při přebytku proudu	filtrace a ohřev vody v bazénu

Tabulka 4.7 Rozdělení spotřebičů dle priority používání

Všechny tyto body nejsou nutnou podmínkou k realizaci před vlastní instalací systému, ale většinu z nich je důležité naplnit. Jedním z hlavních opatření, dle mého názoru, by měla být absence rychlovarné konvice v domácnosti a použití LED osvětlení.

Níže uvedená tabulka (Tabulka 4.8) zobrazuje úsporné opatření rodinného domu. Tabulku lze porovnat s předchozí tabulkou 4.2, která obsahuje veškeré používané spotřebiče domu. Pro snižování celkové spotřeby jsem odebral rychlovarnou konvici, vybral zcela novou lednici s nižším příkonem a kratší provozní dobou. Dále pak nový bojler s menším příkonem o 500 W a především použití LED osvětlení. Celkové snížení spotřeby činí kolem 5-6 kWh/den.

Spotřebiče	Příkon [W]	Provozní doba [min/den]	Spotřeba [kWh/den]
lednice + mrazák	100	246	0,41
mikrovlnná trouba	1200	10	0,2
televize LED	94	360	0,564
televize OCR	94	120	0,188
notebook	35	480	0,28
boiler	1500	360	9
čerpadlo vody	1100	10	0,183
teplovodní oběhové čerpadlo	30	1440	0,72
digestoř	165	3,5	0,688
žehlička	2200	2,4	0,623
pračka	2300	3,5	0,958
myčka na nádobí	2400	5	1,4
Set-top box	20	120	0,04
stereo věž	210	30	0,105
osvětlení 15*6 W	90	120	0,18
Celkem	11538	3310,4	15,539

Tabulka 4.8 Používané spotřebiče po omezení celkové spotřeby

	Současný stav	Stav po úspoře
Příkon [W]	14 918	11 538
Provozní doba [min]	3 522,40	3 310,40
Spotřeba [kWh/den]	21,205	15,539

Tabulka 4.9 Porovnání stavu před a po úspoře

4.5. Popis jednotlivých komponent

V následujících kapitolách popíši jednotlivé části potřebné k provozu Off-grid systému pro rodinný dům. Mikro-kogenerační jednotku zde uvádím jako druhý nezávislý zdroj pro porovnání s FVE z ekonomického a technického hlediska.

Jednotlivé komponenty systému jsou:

- FV panely
- Akumulátory
- Regulátor nabíjení
- Měnič
- Řídící jednotka
- Mikro-kogenerační jednotka

4.5.1. FV panel

FV panely byly podrobně popsány v kapitole 2.2.2. Zde uvádím ve dvou příložených tabulkách rozdílnou výrobu elektrické energie při stejném výkonu, ale s různým sklonem panelů. Právě na rozdílnou výrobu, při různých sklonech FV panelů, jsem již upozornil. Na níže uvedených tabulkách (Tabulka 4.10) je zobrazena průměrná výroba elektrické energie.

Výpočet byl proveden pomocí výpočtového programu, dostupného na:

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>. Hodnoty výroby jsou zobrazeny pro nominální výkon FVE 6 kW. Celkové ztráty vzniklé na kabelech a střídači jsou 11%.

- E_d = Průměrná výroba během jednoho dne
- E_m = Průměrná výroba během jednoho měsíce

pro sklon 35°			pro sklon 49°		
Měsíc	E _d [kWh]	E _m [kWh]	Měsíc	E _d [kWh]	E _m [kWh]
Leden	5,43	168	Leden	5,74	178
Únor	10,7	300	Únor	11,2	314
Březen	17,2	532	Březen	17,4	539
Duben	24,2	726	Duben	23,6	709
Květen	24,5	758	Květen	23	712
Červen	25	750	Červen	23,1	693
Červenec	23	713	Červenec	21,4	664
Srpen	22,4	694	Srpen	21,5	666
Září	17,6	527	Září	17,6	527
Říjen	11,5	355	Říjen	11,9	368
Listopad	6,08	183	Listopad	6,43	193
Prosinec	4,94	153	Prosinec	5,17	160
Průměrná roční výroba	16,1	488	Průměrná roční výroba	15,7	477
Celková roční výroba	5860 kWh		Celková roční výroba	5720 kWh	

Tabulka 4.10 Výroba energie FV panelů při výkonu 6 kW s rozdílným sklonem [22]

První tabulka zleva určuje výrobu při sklonu 35°, což je v odborné literatuře považováno za ideální sklon. Druhá tabulka vpravo udává výrobu při 49° sklonu panelů.

Při porovnávání jsem se zaměřil na 2 období. Na letní období od dubna do srpna a na zimní období v měsících od listopadu do února. Právě v těchto dvou obdobích je patrná rozlišná výroba. Zbylé měsíce, březen a říjen, jsem nebral v potaz z důvodu málo rozdílné výroby. V letním období, vyznačeném žlutě, dochází k větší výrobě a naopak při zimním období, označeném modře, je výroba nižší při sklonu 35°.

Tímto praktickým příkladem se domnívám, že uvedený předpoklad je potvrzen. Také se domnívám, že pro ostrovní systém používaný celoročně, je výhodnější sklon panelů 49°.

4.5.2. Baterie

Velmi důležitou částí je výběr baterií, které slouží jako jeden ze záložních zdrojů při špatném počasí. Energie, která je vyrobena během slunečných dní a není spotřebována, ale je ukládána právě do těchto trakčních baterií. Před vlastním výběrem je nutné se zaměřit na několik hlavních parametrů. Jsou jimi napětí baterií, kapacita, typ a s tím související životnost.

Zprv musíme určit, jakou hodnotu napětí baterií zvolíme. Předpoklad je provoz rodinného domu s běžně používanými spotřebiči na 230 V. Pro systém, který bude používán 24hodin denně, 7 dní v týdnu, je vhodné použít baterie s napětím 24 nebo 48 V. Volba je také závislá na finančních prostředcích a především na výběru měniče.

Pokud přikročíme k výběru baterie dle její kapacity, musím se řídit podobným pravidlem jako u FV panelů – čím více tím lépe. Každá baterie má určitý počet přibližně daných cyklů výrobem. 1 cyklus znamená, že při plně nabité baterii dojde k jejímu vybití a následnému nabití. Počet cyklů určuje životnost baterie. Baterie by měla mít takovou kapacitu, aby stačila na pokrytí 1 - 5 dnů celkové spotřeby domu. Kapacita akumulátorů se pohybuje řádově od desítek Ah až po stovky Ah.

Dalším faktorem a tím nejdůležitějším je výběr dle typu akumulátoru. První typ je běžný druh olověného akumulátoru a druhým typem jsou novější akumulátory s označením LiFePO.



Běžný olověný akumulátor je sekundární galvanický článek s elektrodami na bázi olova, jehož elektrolytem je kyselina sírová, zředěná vodou. Tento typ olověné baterie se dá rozdělit na dva druhy baterie. Jedním je startovací baterie, která je pro ostrovní systém nevhodná a druhým typem je trakční baterie. Ty se již dají použít jako bezpečnostní zdroj ostrovního systému.

Obrázek 4—3 Olověná solární baterie [19]

Výhody:	Nevýhody:
Nižší pořizovací cena	Malé využití kapacity, max. 40%
Velká kapacita	Potřebují okamžité dobíjení
Pomalé samovybíjení	Menší životnost
	Větší rozměry



Novější baterie s označením LiFePO je lithium-železo-fosfátový akumulátor.

Výhody:

Životnost 2000 – 8000 cyklů
 Neexistuje samovybíjení
 Nepotřebují okamžité dobíjení
 Vybíjet se mohou do úplného vybití celkové kapacity

Nevýhody:

Vyšší pořizovací cena

Obrázek 4—4 Baterie LiFeYPO [20]

Při správně navržené celkové kapacitě akumulátorů, je možné počítat s dobou životnosti kolem 8 let provozu. Musíme počítat s určitou kapacitní rezervou baterií, aby stačila i po letech, protože s přibývajícím dobou životnosti kapacita baterií klesá.

4.5.3. Měníč

Tato kapitola je věnována měničům napětí, neboli přesnějším názvem střídačům napětí. Střídač je technologicky nejvýznamnější komponent fotovoltaických systémů.

Úkolem střídačů je měnit stejnosměrné napětí a proud na střídavé a tím využít pro napájení běžných síťových spotřebičů, kterými každá domácnost disponuje (lednička, TV, svítidla, pračka atd.).

Slouží k přeměně stejnosměrného napětí ze solárního systému (12V, 24V, 48V) na střídavé napětí (běžných 230V), které je potřeba pro chod většiny spotřebičů. Účinnost měniče se liší podle druhu výrobce. V průměru se účinnost pohybuje v rozmezí od 85% - 95%. Při výběru měniče je důležité, na jaké vstupní napětí jsou konstruovány, jakou mají účinnost a jaký mají trvalý výkon. Na měniči vznikají ztráty, které jsou způsobeny přeměnou části elektrické energie v polovodičových prvcích na teplo. Při menší účinnosti měniče dochází k větším ztrátám, protože se zahříváním zhoršují optimální pracovní podmínky součástek. Provozní teploty se pohybují v rozsahu od -25 °C až 65 °C.

Střídače lze dělit dle několika hledisek. Rozdělení souvisí s výstupním napětím, dále s výstupním výkonem, a pokud pracují pouze jako měnič nebo tzv. měnič napětí s UPS.

Výstupní napětí můžeme mít dvojího druhu. Prvním typem jsou střídače s modifikovanou sinusovkou a druhým typem jsou měniče s čistě sinusovým průběhem tzv. měniče s čistou sinusovkou.

U výstupního výkonu se uvádí 2 druhy výkonů. Trvalý a špičkový výkon. Trvalý výkon je takový, který lze ze střídače odebírat při běžném provozu. Kdežto špičkový výkon je použitelný pro velmi krátkou dobu.

Podle typu „s“ nebo „bez“ UPS funkce. UPS je tzv. nepřerušitelný záložní zdroj energie. Rozdíl je v tom, že měniče s funkcí UPS zajišťují při výpadku elektřiny v síti okamžité přepnutí napájení z akumulátorů přes tento měnič. Nevýhodou těchto měničů je daleko vyšší cena.

Při výběru vlastního měniče jsem musel zohlednit 3 hlavní parametry:

- 1) Vstupní napětí 48V.
- 2) Druhým parametrem byl dostatečný výkon, pro pokrytí pracovní činnosti vícero spotřebičů najednou. Každý spotřebič potřebuje pro svou činnost odlišný výkon. A je potřeba vybrat takový výkon, který bude vhodný i pro nejnáročnější spotřebiče (motory).
- 3) Výstupní napětí s čistě sinusovým průběhem.

4.5.4. Solární regulátor MPPT

Solární regulátor je stabilizátor napětí a automatická nabíječka akumulátorů. Solární regulátor snižuje napětí vyráběné ze solárních panelů na optimální napětí, které je potřebné pro dobíjení akumulátorů. Při plně nabitých akumulátorech je regulátor odpojí od solárních panelů, aby nedocházelo k jejich přebíjení a nedocházelo ke snižování jejich životnosti. Další funkcí je kontrola aktuálního stavu akumulátorů a udržování akumulátorů v optimálně nabitém stavu.

Při poklesu napětí na panelech pod hodnotu napětí, která je minimální pro nabíjení akumulátorů, dojde k odpojení akumulátorů.

Moderní solární regulátory dovedou automaticky spustit v době přebytku elektrické energie připojený spotřebič s velkým příkonem. Nejdůležitějšími výběrovými parametry jsou: Jmenovité napětí regulátoru a max. proud, který bude regulátor schopný zpracovat. Je třeba mít na paměti, jaké jmenovité napětí mají fotovoltaické solární panely, které chceme s regulátorem použít. A jaký maximální proud mohou FV panely dodat. Dovoleno maximální

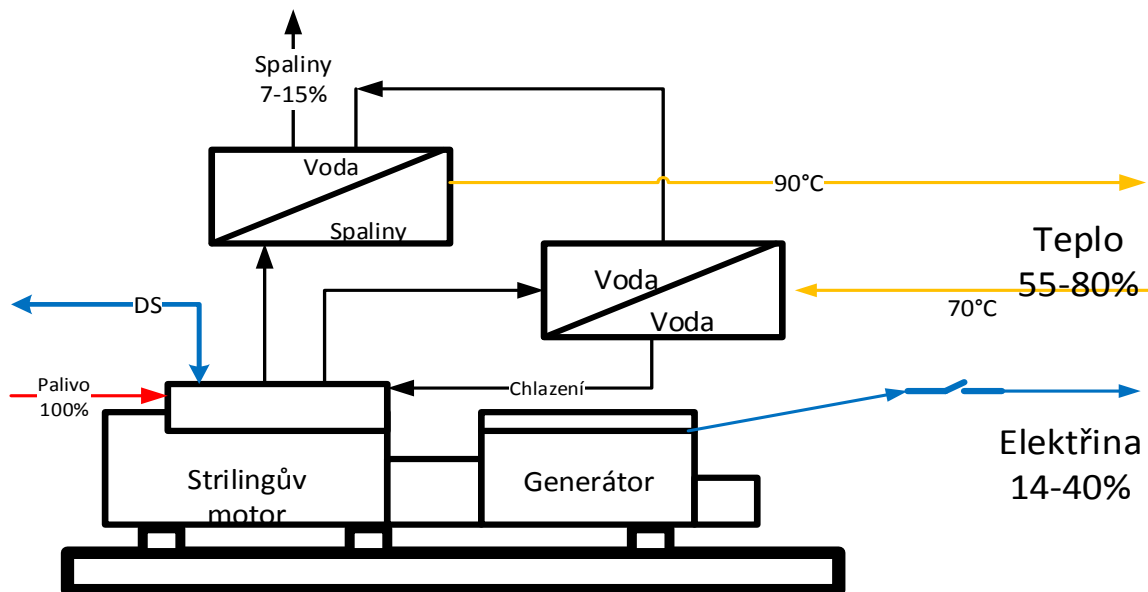
proud regulátoru nesmí být menší, než maximální proud, který mohou vygenerovat solární panely.

U MPPT regulátoru dochází k optimalizaci napětí a proudu. Využívá zabudovanou technologii sledování maximálního bodu výkonu, na VA charakteristice. Tento druh solárního regulátoru dosahuje daleko vyšších hodnot účinnosti než běžné regulátory. Jejich účinnost se pohybuje od 93 do 99%. MPPT měnič se dá využívat při vysokých napětích (150V a výše), může zpracovávat výkon FV panelů, bez projevení vyšších ztrát v systému. Regulátor je potřeba nastavit na požadované systémové napětí, které využíváme.

4.5.5. Mikro-kogenerační jednotka

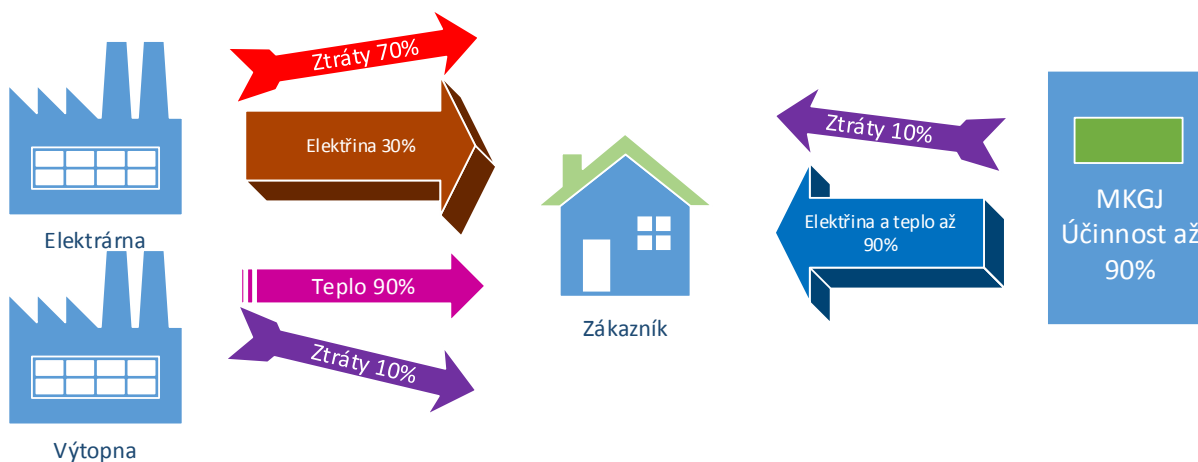
Mikro-kogenerace je kombinovaná výroba elektřiny a tepla v zařízeních max. do 50 kW. Pojem kogenerace znamená společnou výrobu tepla a elektřiny. Primárně je vyráběna tepelná energie, která by měla u MKGJ pokrýt roční spotřebu tepla do 30 MWh. Sekundárně pak vyrábí elektrickou energii, která pokryje u dvougeneračního domu téměř polovinu celkové spotřeby. Standardně jsou konstruovány na zemní plyn, mohou však spalovat i jiná kapalná či plynná paliva. Životnost jednotek se pohybuje kolem 40 let provozu. Stále se v domácnostech používá oddělený provoz pro výrobu tepla (plynové nebo kondenzační kotle, tepelná čerpadla) a výrobu elektřiny (fotovoltaické panely, malé větrné elektrárny). Mikro-kogenerační jednotka (dále jen MKGJ) řeší tyto dvě výroby společně. Dochází k vysokému využití energie v palivu s účinností od 90 -97%. MKGJ je tvořena asynchronním generátorem na výrobu elektřiny, který je poháněn Stirlingovým motorem na zemní plyn.

Teplo i elektřina vzniká v místě spotřeby, a proto odpadají náklady na rozvod energie a s tím spojené ztráty. Protože v domácnostech nedochází k velkým tepelným a elektrickým spotřebám, využívají se převážně mikro-kogenerační jednotky s elektrickým výkonem 1 kW a s tepelným výkonem do 20 kW pro pokrytí spotřeby tepla do 30 MWh. Vyrobená tepelná energie je využívána k vytápění budov a k ohřevu teplé užitkové vody (dál jen TUV).



Obrázek 4—5 Blokové schéma kogenerační jednotky

Výhodou MKGJ je vysoká účinnost využití vstupujícího primárního zdroje. Pokud porovnáme dle níže uvedeného obrázku (Obrázek 4—6) dodávku elektřiny a tepla z výtopny a elektrárny s kogenerační jednotkou, je zde patrné snížení energetických ztrát při výrobě resp. zvyšuje se celková účinnost.



Obrázek 4—6 Porovnání využití tepelné a elektrické energie

4.5.6. Řídící jednotka

Řídící jednotka celý systém hlídá a řídí. Slouží ke sběru, vyhodnocování a ukládání dat ze systému. Do jednotky přichází data z hybridního měniče tedy měniče a MPPT regulátoru. Jsou to data o odběru proudu a okamžitého výkonu z FV panelů. Dále do jednotky přichází data z akumulátoru, které udávají, na jakou kapacitu jsou vybité či nabité. Dalšími daty jsou hodnoty z MKGJ a elektroměru. Všechna tato data jsou posílána do osobního počítače uživatele a poté mohou být vyhodnocována do tabulek a grafů podle potřeb uživatele.

4.6. Technická část – výběr jednotlivých komponent

V této kapitole jsou sepsány technické parametry jednotlivých částí Off-grid systému, jejichž činnost jsem popisoval v předchozích kapitolách. Fotovoltaická elektrárna a MKGJ je navržena s takovým výkonem, aby pokryla potřebu elektrické energie během celého roku s navrženými úsporami v tabulce (Tabulka 4.8).

Celý systém je navrhován na systémové napětí 48 V. Napětí 12 V je pouze pro malé ostrovní systémy, tedy pro chaty a chalupy víkendového využívání. Rozhodoval jsem se mezi napětím 24 V nebo 48 V a zvolil jsem vyšší napětí 48 V. To z toho důvodu, že máme menší proudy v systému, menší úbytky napětí a menší ztráty na kabelech. Jednotlivé komponenty jsou navrhovány na variantu s úsporou celkové spotřeby.

Spotřeba	před úsporou	po úspoře s FVE	po úspoře s MKGJ
denní spotřeba	21,205 [kWh/den]	15,539 [kWh/den]	6,539 [kWh/den]
celková roční spotřeba	7,74 [MWh/rok]	5,67 [MWh/rok]	2,39 [MWh/rok]
celková spotřeba dle faktury z roku 2011	7,39 [MWh/rok]		

Tabulka 4.11 Porovnání jednotlivé spotřeby

Při průměrné denní spotřebě 21,205 kWh dle tabulky (Tabulka 4.2) před úsporou, je celková spotřeba během roku 7,74 MWh a tedy vyšší než z fakturačního období 7,39 MWh. Pokud tuto úvahu aplikuji na stav, kdy dojde k omezení spotřeby, tak celková spotřeba bude oproti teoretické (5,67 MWh/rok) nižší s hodnotou kolem 5,3 MWh/rok. Na tuto celkovou spotřebu navrhuji variantu I. a pro variantu II. uvažuji spotřebu 2,3 MWh/rok.

FV panel



Obrázek 4—7 V panel Schutten [20]

Pro navrhovanou solární elektrárnu je použit FV panel Schutten STP6-240/60.

Spotřeba ÷ výkon panelu = Počet panelů

$$5300 \text{ W} \div 240 \text{ Wp} = 22,1 \text{ panelu}$$

Navrhuji 25 panelů - tzn. Celkový instalovaný výkon v panelech bude 6000 W. Systém je částečně předimenzovaný, aby výroba elektrické energie byla dostačující i v zimních měsících.

Panel obsahuje polykrystalické solární články, s účinností 16-17%. Vyznačuje se vysokou efektivitou přeměny slunečního záření na elektřinu, stabilním výkonem po dlouhou dobu životnosti. Životnost panelu je uváděna na 25 let provozu. FV panely budou instalovány se sklonem 49°.

Technické parametry:

- Rozměry (DxŠxV) 1644 x 994 x 50mm
- Plocha panelu 1,63 m²
- Hmotnost 21 kg
- Nominální výkon 240 Wp
- Účinnost panelu 14,75%
- Nominální napětí 30,2 V
- Nominální proud 7,95 A
- Napětí naprázdno 37,0 V
- Zkratový proud 8,55 A
- Tolerance napětí ± 5%
- Počet a typ solárních článků 60 polykrystalických článků, 156 x 156mm

Střídač

Pro funkci střídače, jsem vybral hybridní měnič Vertex s výkonem 3000 W. Tento střídač včetně měniče, obsahuje i solární regulátor MPPT až do napětí 500 V. Střídač má čistě sinusový výstup ve všech režimech. Výhodou komponentu jsou především v širokém rozsahu vstupního napětí, vysoká efektivita a zabudovaný MPPT regulátor.



Základní technické parametry:

- | | |
|------------------------------|----------------|
| • Výkon | 3000 W |
| • Výstupní napětí | čistě sinusové |
| • Nabíjecí proud baterií až | 25 A |
| • Spotřeba bez zatížení max. | 10 W |
| • Účinnost z baterií | 92% |
| • Účinnost z FV panelů | 95,5% |

Obrázek 4—8 Hybridní měnič Vertex [24]

Vstupní stejnosměrné veličiny:

- | | |
|------------------------|-------------|
| • Max. připojený výkon | 3 kW – 2x |
| • Max. napětí | 500 V |
| • MPP rozsah napětí | 250 ~ 450 V |
| • Maximální proud | 20 A |

Jelikož maximální připojený výkon může být pouze 3 kW, je potřeba 2 tyto měniče.

Baterie

Ve výpočtu jsem uvažoval nad takovou záložní kapacitou, která pokryje minimálně 4 dny spotřeby při běžném dni, kdy je špatné počasí. Dále jsem předpokládal, že kapacitu nemohu využít na 100%, abych právě baterie nevybíjel do nuly (je třeba dodržet předepsanou hloubku vybití, kterou zajišťuje MPPT regulátor). Uvažuji využití 80% kapacity akumulátoru. Jako průměrnou spotřebu uvažuji 15,539 kWh (viz. Tabulka 4.8). Spotřebu uvažuji bez připočítání ztrát vzniklých v solárním regulátoru a bez ztrát při nabíjení akumulátoru. K celkové spotřebě jsou připočteny pouze ztráty vzniklé na měniči.

Potřebné množství energie = počet dnů x denní spotřeba

Kde počet dnů určuje, jak dlouho požadujeme, aby akumulátory pokryly celkovou spotřebu domu. Budu uvažovat 4 dny na pokrytí spotřeby.

Pokud dosadíme do vzorce výše, potom dostaneme:

$$15,539 \text{ kWh} * 4 \text{ dny} = 62,156 \text{ kWh}$$

Kapacita je udávána v Ampérhodinách, které dostaneme z Watthodin tak, že elektrickou energii podělíme napětím systému, který jsme zvolili. V tomto případě 48V.

$$62156 \text{ Wh} \div 48\text{V} = 1295 \text{ Ah}$$

Abychom dostali požadovanou kapacitu systému, nesmíme opomenout oněch 80% využívané kapacity akumulátoru.

$$1295 \div 0,8 \cong 1618,75 \text{ Ah}$$



Obrázek 4—9 Ukázka vybraného záložního zdroje (trakční akumulátor) [20]

Z tohoto krátkého výpočtu je patrné, že proto, abychom pokryli spotřebu objektu 15,539 kWh po dobu 4 dnů, musí mít akumulátory kapacitu 1618,75 Ah. Pro takovou kapacitu jsem vybral sestavený kus s typem baterie LiFeYPO4 48V 16 x 3,2V x 100 Ah. Celková kapacita je zde 1600 Ah. Pokud bych vybíral větší akumulátor, cena by byla výrazně vyšší, což by již nebylo ekonomicky výhodné.

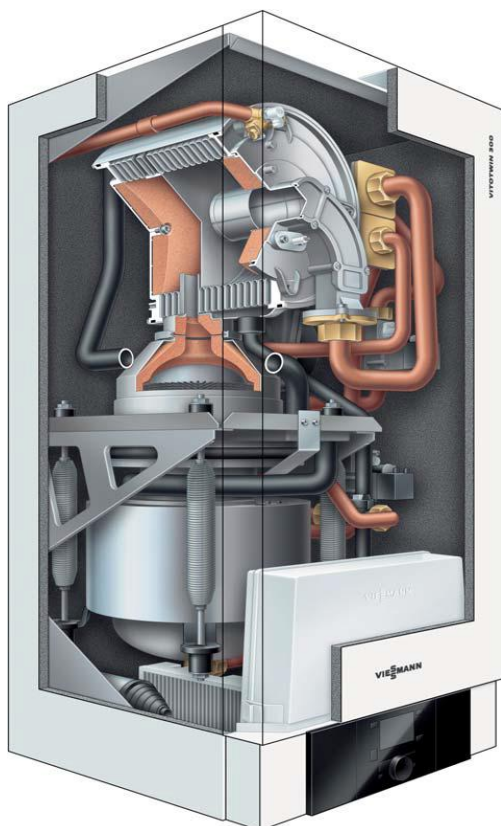
Technické parametry:

- Max. dobíjecí napětí 4,25 V
- Min. provozní napětí 2,5 V
- Trvale dodávaný proud 3C (3-násobek kapacity článku)
- Životnost 2000-4000 cyklů (úplné vybití a nabití)
- Provozní teplota -45°C až 85°C

Mikro-kogenerační jednotka

Mikro-kogenerační jednotku jsem zvolil od firmy Viessmann. Přesný typ MKGJ je Vitotwin 300-W se stylingovým motorem a plynovým kondenzačním kotlem Vitodens 200-W. Tato jednotka je vhodná pro plné pokrytí tepelné potřeby rodinného domu a hodí se i pro pokrytí spotřeby elektrické energie se základním zatížením. V porovnání s běžným plynovým kotlem MKGJ spotřebuje daleko méně energie a navíc vyrábí elektrickou energii pro vlastní potřeby domu. Stirlingův motor pokrývá základní denní potřebu tepla a plynový kondenzační kotel slouží pro pokrytí chybějícího (špičkového) výkonu. Výhodou jednotky je jeho bezúdržbovost a tichý provoz. Je vhodný pro rodinné domy s minimální spotřebou plynu 20 MWh a elektrickou energií více jak 3000 kWh. Případný nedostatek elektrické energie bude dodáván do objektu distributorem, v tomto případě Společností ČEZ a.s.

Díky MKGJ nám ve vybraném objektu odpadne využívání ohřevu TUV pomocí bojleru. Tím pádem se nám sníží celková spotřeba elektrické energie.



Obrázek 4—10 Řez kotle Vitotwin 300-W

Technické parametry:

- Stirlingův motor:
- Tepelný výkon: 6 kW
- Elektrický výkon: 1 kW
- Účinnost: 96%

Plynový kondenzační kotel:

- Tepelný výkon: 6-20 kW
- Účinnost: 98%

- Hlučnost: < 50 dB
- Celková účinnost: 97%
- Hmotnost: 110 kg
- Rozměr :480x480x900mm
- Objem výměníku tepla: 3,8 l

- Jmenovité napětí: 230 V
- Jmenovitá frekvence: 50 Hz

4.7. Druhy návrhu systému

Zde jsem provedl jednotlivé výpočty návrhů pro různé varianty. Tyto výpočty by měly poukázat na jednotlivé druhy použití, které se již využívají a které mají zřejmě velikou budoucnost. Jednotlivé výpočty mají ukázat, jak lze rodinný dům navrhnout tak, aby DS nn byla v případě nouze pouze záložním zdrojem a objekt bude téměř nezávislý na dodávce elektřiny. Tento trend v instalování FV panelů na střechy, je stále větší a s příchodem mikrokogeneračních jednotek pro rodinné domy se tyto dvě jednotky budou kombinovat a systém se bude moci stát zcela soběstačný. Celková roční spotřeba je brána z fakturačního období za rok 2011. Vzhledem ke změně cen za elektřinu a plyn je celková spotřeba za energie brána u současného stavu se stejnou spotřebou, ale s aktuálními cenami.

V první řadě je zapotřebí znát současnou situaci objektu k tomu, abych mohl navržené varianty s FVE a MKGJ porovnat podle doby návratnosti počáteční investice.

Spotřeba zemního plynu:

- Objekt je vytápěn plynovým kotlem, který pokrývá pouze vytápění objektu.
- Celková spotřeba zemního plynu v roce 2011: 1855 m³
- Koeficient spalného tepla [kWh/m³]: 10,545
- Energetická spotřeba zemního plynu v roce 2011: 19,566 MWh

Spotřeba elektrické energie:

- Celková spotřeba elektrické energie v roce 2011: 7,39 MWh
- Na celkové spotřebě elektrické energie se podílí především bojler (viz. Tabulka 4.2), který ohřívá TUV.

4.7.1. Současný stav

Roční náklady na teplo v r. 2011:

- Celková spotřeba: 19,566 MWh
- Cena zemního plynu: 1,48776 Kč/kWh
- Celkové náklady: 29 110 Kč

Roční náklady na elektřinu a TUV v r. 2011 (tarif D26d)		
	VT [MWh]	NT [MWh]
Celková spotřeba	2,33	5,06
Cena elektřiny za 1kWh	3,868 Kč	2,228 Kč
Celkové náklady	9 012 Kč	11 274 Kč
Součet VT + NT	20 286 Kč	

Tabulka 4.12 Náklady za elektřinu a TUV dle tarifu D26d

Celkové roční náklady za energie: $29\ 110 + 20\ 286 = 49\ 396$ Kč

Zde jsou pro porovnání přiloženy celkové náklady na elektrickou energii při daných úsporách, kterých jsem docílil v kapitole 4.4.

Celkové náklady na elektrickou energii s předpokládanými úsporami:

- Celková snížená spotřeba: 5,3 MWh
- Cena za 1kWh (průměr přibližně za VT a NT): 2,745 Kč
- Celkové náklady: 14 549 Kč

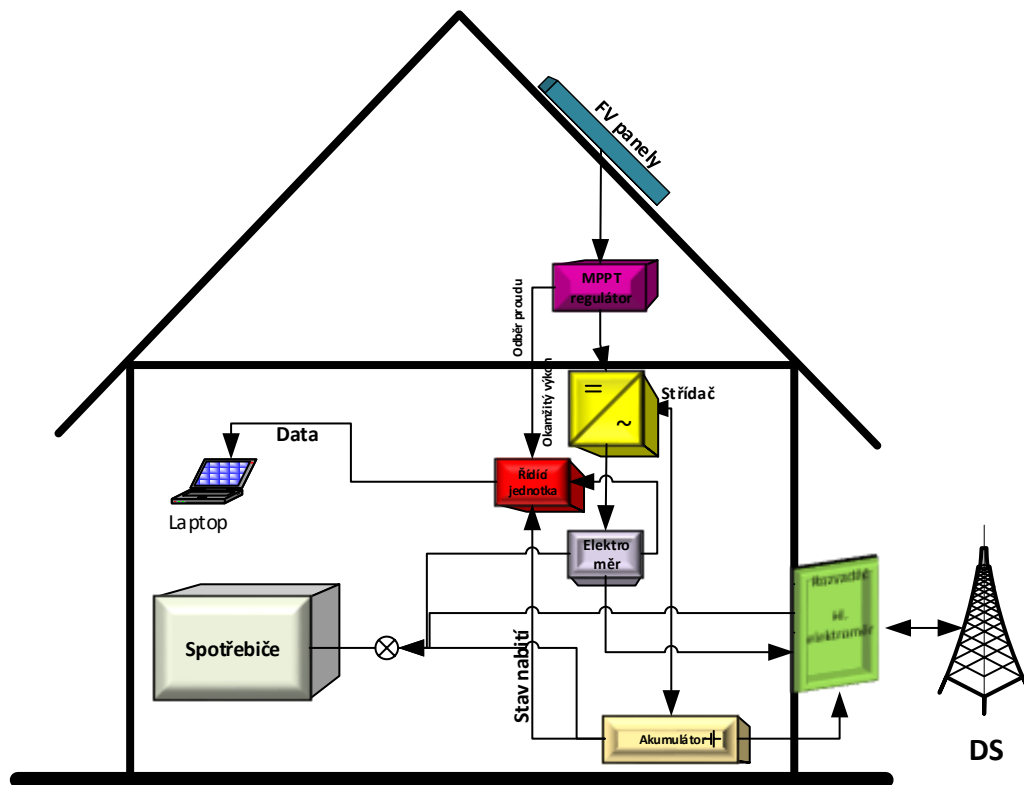
Úspora: $20\ 286 - 14\ 549 = 5\ 737$ Kč

Pokud bychom pouze omezili celkovou spotřebu tím, že bychom nainstalovali úspornější spotřebiče, dosáhli bychom snížení nákladů za elektřinu o 5 737 Kč za rok.

4.7.2. Varianta I. – Návrh FV systému pro Off-grid systém

Tato varianta je navržena tak, že FV panely budou pokrývat většinu spotřeby během celého roku a především v letních měsících. Pokud nedokážou pokrýt celkovou spotřebu, což se projeví hlavně v zimě, bude zbytek pokrývat záložní zdroj resp. distribuční síť.

Použiji vybraný druh FV panelu, a jeho výkonovou velikost budu navrhovat pro spotřebu 5,3 MWh. Spotřeba zemního plynu je stejná jako u současného stavu. Nominální výkon FV panelů je 6 kW.



Obrázek 4—11 Schéma zapojení Off-grid systému pro FVE

Elektřina		Plyn	
Potřebná el. energie	5,3 MWh	Celkové náklady na teplo zůstávají stejné jako v současném stavu, tedy s plynovým kotlem	
Vyrobena FVE	5,72 MWh		
Přebytek	420 kWh		
Podpora "ZB" za 1 kWh	2,28 Kč/kWh	Náklady	29 110 Kč
Celkový zisk	13 042 Kč		

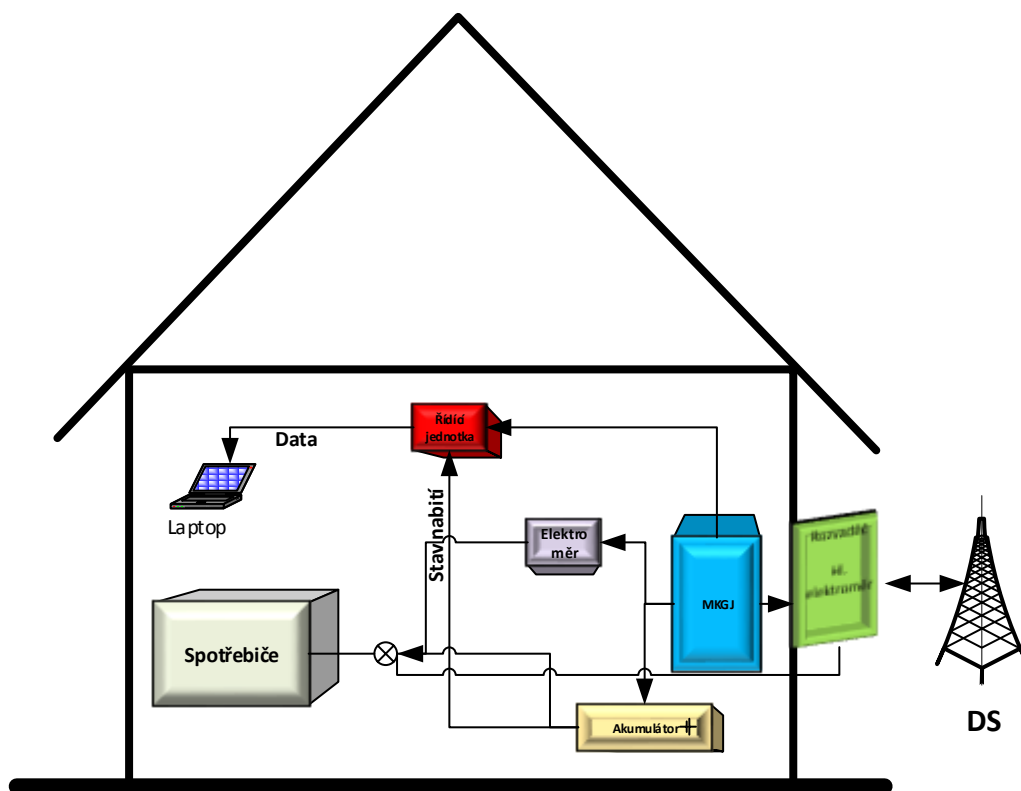
Tabulka 4.13 Návrh varianty I.

4.7.3. Varianta II. – Mikro-kogenerační jednotka + Distribuční síť

U této varianty počítám s vybranou mikro-kogenerační jednotkou, která bude pokrývat veškerou tepelnou potřebu včetně ohřevu TUV. Bude pokrývat i potřebnou elektrickou energii. Hlavním záměrem této varianty je porovnat navrženou variantu s FVE vzhledem k investičním nákladům a cenové návratnosti celého systému.

MKGJ bude v provozu během celého roku jako samostatný zdroj. Záložní zdroj pro případný nedostatek elektrické energie poskytne DS. Jednotlivé varianty poté porovnáám a zjistím, jaký typ zdroje bude pro provoz výhodnější a investičně méně nákladný.

Vybraná MKGJ slouží nejen pro dodání tepelné energie na topení, ale také pro ohřev TUV. Díky tomu se sníží celková roční spotřeba elektrické energie, protože nebudeme využívat bojler právě k ohřevu TUV. Tím se nám změní i tarif z D26d na standardní tarif D02d.



Obrázek 4—12 Schéma zapojení Off-grid systému pro MKGJ

Spotřebiče	Příkon [W]	Provozní doba [min/den]	Spotřeba [kWh/den]
lednice + mrazák	100	246	0,41
mikrovlnná trouba	1200	10	0,2
televize LED	94	360	0,564
televize OCR	94	120	0,188
notebook	35	480	0,28
čerpadlo vody	1100	10	0,183
teplovodní oběhové čerpadlo	30	1440	0,72
digestoř	165	3,5	0,688
žehlička	2200	2,4	0,623
pračka	2300	3,5	0,958
myčka na nádobí	2400	5	1,4
Set-top box	20	120	0,04
stereo věž	210	30	0,105
osvětlení 15*6 W	90	120	0,18
Celkem	10038	2950,4	6,539

Tabulka 4.14 Celková spotřeba bez využití bojleru

V důsledku snížení spotřeby elektrické energie, se zvýší spotřeba zemního plynu k ohřevu TUV. Celkové navýšení tepelné energie na plyn budu uvažovat na 2000 kWh za rok.

Celková denní spotřeba bez využívání bojleru a s provedenými úsporami na spotřebě je přibližně 6,539 kWh/den. Pokud budu počítat s průměrem jako v předchozím případě, bude ponížena celková roční spotřeba elektrické energie na 2300 kWh/rok.

Spotřeba zemního plynu MKGJ:

- Potřebná tepelná energie + navýšení ohřev TUV
- 19 566 kWh + 2 000 kWh = 21 566 kWh
- Účinnost MKGJ: 96%
- Celková roční spotřeba: $21\,566 \div 0,96 = \mathbf{22\,465\ kWh}$

Maximální provozní doba MKGJ za rok:

- Celková spotřeba ÷ tepelný výkon jednotky
- $22\,465\ kWh \div 6\ kW = 3\,744\ hod$

Vyrobená elektrická energie:

- Počet hodin provozu * elektrický výkon
- $3\,744\ hod * 1\ kW = 3\,744\ kWh$

Elektrina		Plyn	
Potřebná el. energie	2,3 MWh	Potřebná tep. energie	22 465 kWh
Vyrobena MKGJ	3,744 MWh	Cena za 1 kWh	1,48776 Kč
Přebytek	1,444 MWh	Celkové náklady	33 423 Kč
Podpora "ZB" za 1 kWh	1,54 Kč/kWh	Náklady za současného stavu	29 110 Kč
Celkový zisk	5 766 Kč	Zvýšené náklady	4 313 Kč

Tabulka 4.15 Návrh varianty II.

Z výše uvedené tabulky je patrný nárůst nákladů za zemní plyn. Elektrickou energii by v tomto případě měla celou pokrýt MKGJ. Pokud by tomu tak nebylo, byl by využit záložní zdroj, resp. distribuční síť. V tomto případě by cena elektřiny za 1 kWh s tarifem D02d stála 4,947 Kč/kWh. Náklady by se poté výrazně zvýšily.

5. Ekonomické vyhodnocení

Cílem ekonomického zohlednění je porovnat navržené dvě varianty, dle jejich investičních nákladů a návratnosti. Budu porovnávat návratnost Varianty I., která obsahuje FV panely s nominálním výkonem 6 kW a Variantu II. obsahující mikro-kogenerační jednotku. Tato MKGJ bude pokrývat veškerou část potřebné tepelné energie včetně ohřevu TUV a také elektrickou energii. V případě nedostatku elektrické energie bude využívána DS.

5.1. Vyhodnocení investičních nákladů

Celkové investiční náklady jsou uvedeny v následujících tabulkách jednotlivých kapitol. Obsahují potřebné komponenty k oběma variantám, jejich cenu za kus a celkovou cenu. Pro přehlednost jsem investiční vyhodnocení rozdělil do dvou kapitol podle jednotlivých variant.

5.1.1. Varianta I.

Varianta I.			
<i>FVE</i>			
Komponent	Množství	Cena za jednotku	Cena celkem
FV panel Schutten 240Wp	25	4 850 Kč	121 250 Kč
Baterie LiFeYPO 48V	1	59 990 Kč	59 990 Kč
Hybridní měnič Vertex 48V 3kW	2	32 990 Kč	65 980 Kč
AC/DC kabeláž	1	5 000 Kč	7 500 Kč
Konstrukce (pro 10 FV panelů)	2,5	13 590 Kč	33 975 Kč
Ostatní náklady mimo technologii			20 000 Kč
Řídící jednotka	1	10 000 Kč	10 000 Kč
Celková cena			318 695 Kč
Celkové náklady			318 695 Kč

Tabulka 5.1 Investiční náklady Varianty I.

Ostatní náklady mimo technologie obsahují instalaci, připojení a odzkoušení celého systému. Dále je v ceně obsažena prohlídka po ročním provozu.

V následující tabulce a grafu jsou zobrazeny hodnoty v nadcházejících 15 letech. Jednotlivé části tabulky obsahují roční zisky ze „zeleného bonusu“, cenu za plyn, celkové roční náklady a zisk. Tabulka také obsahuje pro porovnání roční náklady na energie bez FVE tedy za současného stavu.

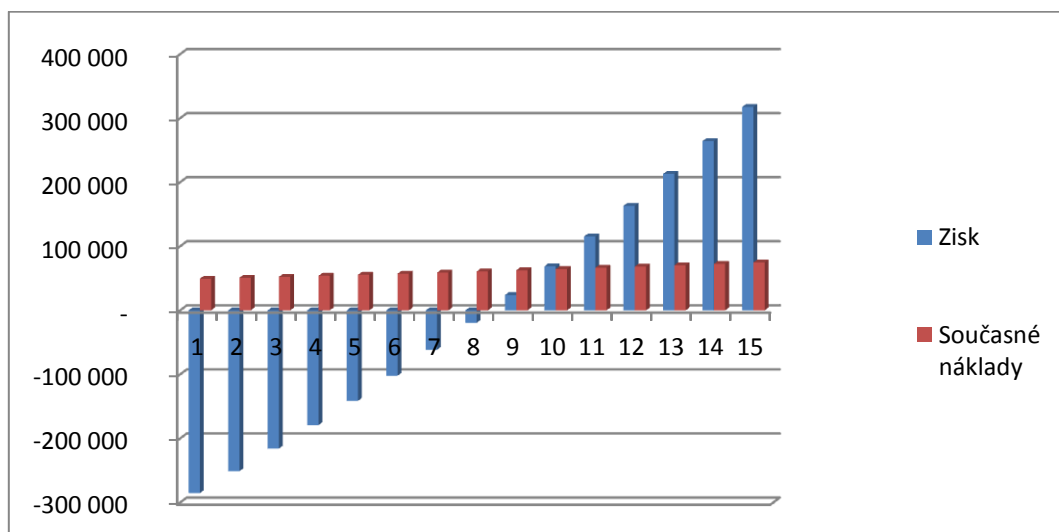
Započítání valorizace

Cena za plyn: 3% ročně

Zelený bonus: 2% ročně

Rok	Počáteční Investice	Zelený bonus	Cena za plyn	Celkové náklady	Současné náklady	Zisk
1	-318 695	13 042	29 110	16 068	49 396	-285 367
2		13 303	29 983	16 680	50 878	-251 169
3		13 569	30 583	17 014	52 404	-215 780
4		13 840	31 195	17 354	53 976	-179 158
5		14 117	31 819	17 701	55 596	-141 263
6		14 399	32 455	18 055	57 264	-102 055
7		14 687	33 104	18 417	58 981	-61 490
8		14 981	33 766	18 785	60 751	-19 524
9		15 281	34 441	19 161	62 573	23 888
10		15 586	35 130	19 544	64 451	68 795
11		15 898	35 833	19 935	66 384	115 245
12		16 216	36 549	20 333	68 376	163 287
13		16 540	37 280	20 740	70 427	212 974
14		16 871	38 026	21 155	72 540	264 359
15		17 209	38 787	21 578	74 716	317 497

Tabulka 5.2 Přehled finančních toků v 15 letech s FVE



Graf 5-1 Vyhodnocení finančních toků v 15 letech s FVE

V tabulce 5.2 je vyznačena doba návratnosti FVE, která vychází na 9 let. Z grafu pod tabulkou (Graf 5-1) je graficky znázorněn finanční tok, kdy dojde k přelomu ze ztrát na zisk. Do celkové návratnosti jsem započítal zisk ze „zeleného bonusu“, který je v nynější době v hodnotě 2,28 Kč/kWh. Tato hodnota se ročně zvyšuje o 2%. Naopak do ceny za zemní plyn jsem započítal valorizaci resp. zvyšování ceny na 3% ročně. V tabulce a grafu jsou také zobrazeny ceny za celkové náklady bez využívání FVE, tedy za stavu který je v rodinném domě v současnosti. Do nákladů bez využívání FVE je započtena cena za zemní plyn a elektřinu. U každé položky je započítána valorizace 3% a celkové náklady tvoří součet těchto dvou hodnot.

5.1.2. Varianta II.

Tato varianta s mikro-kogenerační jednotkou je hodnocena pro celoroční provoz a jako případný záložní zdroj v podobě distribuční sítě. V ideálním případě se na celkových nákladech neprojeví cena za dodanou elektřinu právě z DS. Následující tabulka zobrazuje pouze celkovou cenu za celý paket, který obsahuje vybranou MKGJ, cenu její instalace a uvedení do provozu se všemi potřebnými zkouškami. Bohužel se mi nepodařilo získat cenu pouze za MKGJ, kterou firma Viessmann neuvádí.

Varianta II.			
<i>MKGJ</i>			
Komponent	Množství	Cena za jednotku	Cena celkem
MKGJ Viessmann Vitotwin 300-W	1	350 000 Kč	350 000 Kč
Řídící jednotka	1	10 000 Kč	10 000 Kč
Baterie LiFeYPO4	1	59 990 Kč	59 990 Kč
Celkové náklady			419 990 Kč

Tabulka 5.3 Investiční náklady Varianty II.

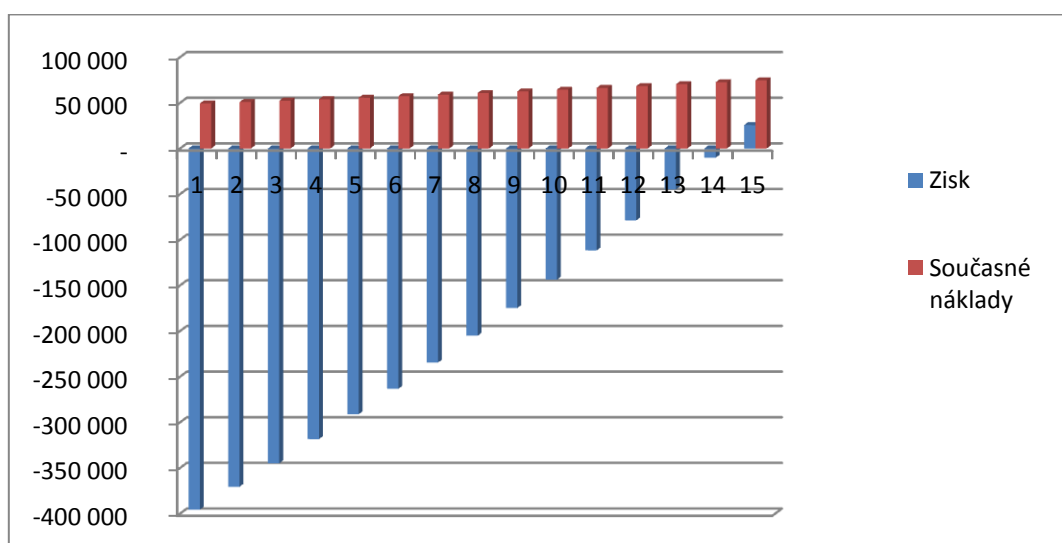
Dotace spojené s výrobou a provozem kombinované výroby elektřiny a tepla jsou stanovené energetickým regulačním úřadem (ERÚ), ze dne 26. Listopadu 2012, platný od 1. 1. 2013.

Druh podporovaného zdroje	Instalovaný výkon [kW]	Počet hodin provozu [hod/rok]	Zelený bonus [Kč/MWh]
Kombinovaná výroba elektřiny a tepla využívající obnovitelné zdroje nebo degazační a důlní plyn	0-200	3000-4400	1 540

Tabulka 5.4 Dotace z kombinované výroby elektřiny a tepla

Rok	Počáteční investice	Zelený bonus	Cena za plyn	Celkové náklady	Současné náklady	Zisk
1	-419 990	5 766 Kč	30 801	25 035	49 396	-395 629
2		5 881 Kč	31 725	25 844	50 878	-370 595
3		5 999 Kč	32 677	26 678	52 404	-344 869
4		6 119 Kč	33 657	27 538	53 976	-318 431
5		6 241 Kč	34 667	28 425	55 596	-291 260
6		6 366 Kč	35 707	29 341	57 264	-263 337
7		6 493 Kč	36 778	30 285	58 981	-234 640
8		6 623 Kč	37 881	31 258	60 751	-205 147
9		6 756 Kč	39 018	32 262	62 573	-174 836
10		6 891 Kč	40 188	33 297	64 451	-143 683
11		7 029 Kč	41 394	34 365	66 384	-111 664
12		7 169 Kč	42 636	35 466	68 376	-78 755
13		7 313 Kč	43 915	36 602	70 427	-44 930
14		7 459 Kč	45 232	37 773	72 540	-10 163
15			7 608 Kč	46 589	38 981	74 716

Tabulka 5.5 Přehled finančních toků v 15 letech s MKGJ



Graf 5-2 Vyhodnocení finančních toků v 15 letech s MKGJ

Celkové náklady bez FVE jsou stejné jako u varianty I. Je zde opět započítána valorizace za cenu zemního plynu v hodnotě 3%. Valorizace se týká i podpory ze strany státu v podobě „zeleného bonusu“, kde dochází ke zvýšení v hodnotě 2% za rok. Podpora státu z kombinované výroby elektřiny a tepla je uvedena v tabulce (Tabulka 5.4). Celková investiční návratnost navrženého systému s použitím mikro-kogenerační jednotky od firmy Viessmann je 15 let.

6. Shrnutí a zhodnocení systému

Pro přehlednost použijí ke shrnutí dvě tabulky, kde každá obsahuje důležité body jednotlivých variant. První tabulka zleva obsahuje Fotovoltaickou elektrárnu (FVE), druhá zleva potom mikro-kogenerační jednotku (MKGJ). Shrnutí důležitých komponent a investičních nákladů dvou navržených variant jsou sepsány v následujících dvou kapitolách. Dále následují kapitoly o porovnání, co se týče ekonomického hlediska a celkové zhodnocení jednotlivých variant.

FVE		MKGJ	
Celková elektrická denní spotřeba	15,539 kWh	Celková elektrická denní spotřeba	6,539 kWh
Nominální výkon FVE	6 MW	Nominální el. výkon MKGJ	1 kW
Roční energetický zisk z FVE	5,72 MWh	Roční energetický zisk z MKGJ	3,45 MWh
Potřebná elektrická energie na rok	5,3 MWh	Potřebná elektrická energie na rok	2,3 MWh
Kapacita akumulátorů	1600 Ah	Kapacita akumulátorů	1600 Ah
Požizovací cena systému	318 695 Kč	Požizovací cena systému	419 990 Kč
Podpora za "ZB"	2,28 Kč/kWh	Podpora za "ZB"	1,54 Kč/kWh
Finanční zisk "ZB"	13 042 Kč	Finanční zisk "ZB"	5 766 Kč
Roční cena za zemní plyn	29 110 Kč	Roční cena za zemní plyn	30 801 Kč
Roční náklady za energie	16 068 Kč	Roční náklady za energie	26 346 Kč
Doba návratnosti	9 let	Doba návratnosti	15 let

Tabulka 6.1 Shrnutí hodnot jednotlivých variant

Jednotlivé hodnoty jsou v tabulce uváděny pro první rok provozu. V dalších letech se ceny mění podle výše stanovených tabulek.

6.1. Shrnutí navrženého systému – Varianta I.

Fotovoltaická elektrárna obsahuje 25 panelů od společnosti Schutten s polykrystalickou strukturou. Nominální výkon jednoho panelu je 240 W a tedy celkový výkon činí 6000 kW. Dle tabulky (Tabulka 4.10) je celková předpokládaná vyrobená elektrická energie během roku 5,72 MWh. Tato vyrobená elektrická energie je podle předpokladů dostačující k pokrytí celkové potřeby rodinného domu. Kapacita akumulátorů má hodnotu 1600 Ah. Tato hodnota je vypočtena pro zajištění dodávky elektřiny po dobu 4 dnů. Střídač je hybridního typu, tzn. obsahuje jak střídač, tak i MPPT solární regulátor. A systém samozřejmě obsahuje u obou variant řídicí jednotku, která shromažďuje data z jednotlivých částí systému. Celková pořizovací cena i s dalšími komponenty podle tabulky 5.1 je 318 695 Kč.

V celkových ročních nákladech je započítána cena za plyn a roční zisk v podobě státní podpory ze „zeleného bonusu“. Ty ve výsledku činí 16 046 Kč za první rok. V dalších letech se cena za zemní plyn a zelený bonus zvyšuje z důvodu započítané valorizace ve výši 3% resp. 2% ročně.

6.2. Shrnutí navrženého systému – Varianta II.

Varianta dvě je navržena s mikro-kogenerační jednotkou a distribuční sítí jako záložní zdroj pro případný nedostatek elektřiny. MKGJ jsem vybral od společnosti Viessmann. Tato jednotka je vhodná pro pokrytí tepelné potřeby rodinného domu. Její tepelný minimální výkon je 6 kW a elektrický výkon je 1 kW. Účinnost této jednotky se pohybuje kolem 96%.

Použitím MKGJ, která slouží nejen pro dodání tepelné energie do domu, ale i pro ohřev TUV, se nám změní využívaný tarif D26d na D02d. Tím nám odpadlo využití bojleru a snížila se nám celková roční elektrická spotřeba na hodnotu 6,539 kWh/den, viz (Tabulka 4.14).

Prvotní investice do MKGJ je zhruba 420 000 Kč, která obsahuje instalaci, odzkoušení a uvedení do běžného provozu od firmy Viessmann.

Do ročních nákladů je opět započítána cena za plyn s danou valorizací 3% a zisk za podporu státu pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla. Celkové roční náklady v prvním roce jsou 25 035 Kč.

Doba návratnosti při porovnání s náklady se současným stavem tedy bez využívání FVE a MKGJ je odhadována na zhruba 15 let.

Celková doba návratnosti obou variant nemusí být zcela přesná. Důležitou roli bude hrát zvyšování ceny zemního plynu, která nám bude celkové roční náklady na provoz navyšovat. Započítal jsem do ceny za zemní plyn nárůst ceny o 3%, ale samozřejmě v průběhu let může dojít k nárůstu či poklesu ceny. Dále může dojít k navýšení ročních nákladů z důvodu využívání distribuční sítě při nedostatku elektřiny u návrhu první či druhé varianty.

Tyto uvedené hodnoty jednotlivých variant jsou počítány za ideálního stavu, jak je výše popsáno. Tedy bez využití záložního zdroje resp. DS a s předpokladem valorizace ceny 3% u zemního plynu a elektrické energie. A také bez započítání náhlých nákladů při nečekané nefunkčnosti některého z komponent.

6.3. Porovnání variant

Zpracoval jsem dva návrhy pro využití Off-grid systému. První varianta obsahuje FVE, která podle uvedených předpokladů pokryje veškerou potřebnou elektrickou energii. Případným záložním zdrojem je zde distribuční síť. Druhá varianta obsahuje MKGJ. U této varianty je opět bráno celkové pokrytí potřebné tepelné energie i elektrické energie. U této varianty došlo k výraznému poklesu spotřeby elektřiny, z důvodu odstranění bojleru, ale nárůstu spotřeby zemního plynu. MKGJ slouží i pro ohřev TUV a tím zvyšuje spotřebu zemního plynu.

Pro porovnání ekonomické návratnosti jsem nejprve musel vypočítat celkovou spotřebu tepelné a elektrické energie při současném stavu. Při porovnání jednotlivě navržených variant je výhodnější první varianta resp. systém s použitím FVE. Doba, za kterou bychom získali vložené investice je 9 let, tedy kratší o 6 let v porovnání s druhou variantou. Je to proto, že u FVE máme daleko nižší roční náklady na provoz, které jsou o více jak 10 000 Kč nižší. Při porovnání se současným stavem dochází k daleko vyšším ziskům, a proto je návratnost kratší.

6.4. Zhodnocení

Pokud bych měl zhodnotit jednotlivé systémy, můj názor je takový, že stále je výhodnější investovat do FV panelů a dalších komponent pro chod systému. Domnívám se, že mikro-kogenerační jednotky pro rodinné domy jsou stále v rozvoji a je potřeba tuto technologii ještě zlepšovat. Samozřejmě tento trend se týká i FV panelů, ale myslím si, že FVE jsou v tomto směru napřed oproti MKGJ.

Zatím jsou více v provozu pouze kogenerační jednotky, které mají daleko větší tepelný i elektrický výkon. Jsou využívány především v průmyslu nebo lázních, kde je vyžadován právě větší výkon těchto jednotek. Výhodou mikro-kogenerační jednotky je především její životnost v porovnání s FV panely. Návratnost FVE je kratší o několik let, ale v průběhu používání dochází ke snižování účinnosti FV panelů, což u MKGJ nedochází. Tato výhoda by mohla hrát významnou roli ve výběru varianty.

FVE se v našich podmínkách instalují převážně na zemědělská pole, ale myslím si, že by se také mohly instalovat na rozlehlé průmyslové budovy a třeba i na obchodní centra či supermarkety. Instalace na takovéto objekty by dle mého názoru mohla znamenat dobré využití nepotřebných prostor. Co se týče staveb FV panelů na rodinné domy, tento trend má rostoucí hodnotu. I přesto, že na přelomu roku 2010 a 2011 došlo k výraznému poklesu v podobě finanční podpory od státu a od r. 2014 nebude zřejmě žádná podpora.

Můj názor je takový, že FVE je v porovnání s MKGJ zatím výhodnější i co se týče ekonomické návratnosti.

7. Závěr

Hlavním úkolem této diplomové práce bylo navrhnout systém pro chod Off-grid systému s obnovitelným zdrojem energie. Nejprve jsem se v první části zaměřil na popis rozvoje obnovitelných zdrojů energie u nás v České republice. Největším rozvojem u nás byl, veřejností vnímaný, rozvoj fotovoltaických elektráren, především do roku 2010. Rozmach solární energetiky v Česku nastal kvůli tomu, že ERÚ stanovil vysoké výkupní ceny elektřiny a garance výkupu byla u fotovoltaiky prodloužena z 15 na 20 let. Nepříjemností se stal tzv. stop stav, kdy bylo na přechodnou dobu znemožněno připojování fotovoltaiky z důvodu možného přetížení ES. Od počátku roku 2012 tento stav byl zrušen a bylo uvolněno pro výrobu z OZE 65 MW výkonu.

V diplomové práci jsem se zabýval dvěma variantami pro návrh Off-grid systému. To z důvodu, abych se pokusil porovnat dva odlišné systémy, které budou, dle mého názoru, v budoucnu daleko více využívány. Z daných výpočtů, jednotlivě navržených variant, je v současné době stále výhodnější investovat do fotovoltaického systému.

Obnovitelné zdroje energie budou v budoucnu hrát stále významnější roli v celkové skladbě výroben elektřiny. V průběhu 20 – 40 let by se cena elektřiny vyrobená ze slunce měla postupně vyrovnat ceně energie z běžných zdrojů (fosilních paliv). Přestože výkupní cena elektřiny po celém světě každým rokem klesá, klesá i cena technologií. Domnívám se, že fotovoltaika bude v blízké době na celém světě jedním z nejvýznamnějších energetických zdrojů.

Ačkoli má fotovoltaika velkou budoucnost, přesto si myslím, že dnes tyto špičkové technologie využívající výrobu elektřiny ze slunce nejsou ještě na takové technické úrovni, kterou bychom potřebovali. Budoucnost vidím v menších fotovoltaických zdrojích podporujících vlastní spotřebu elektřiny a částečnou nezávislost firem či rodinných domů na nákupu elektřiny.

Co se týče mikro-kogenerační technologie, lze očekávat do budoucna velké rozšíření této technologie. Pro větší zájem je zapotřebí většího investování ze stran výrobců a to především do vývoje a propagace. Tak by se zajistila produkce ve velkém počtu a MKGJ by se dostala do povědomí zákazníků.

Obě varianty, kterými jsem se zabýval v této diplomové práci, mají své výhody a nevýhody, ale nevýhoda varianty II. z MKGJ je, že ji lze použít jen v místech, kde je plynofikace, což je především ve městech a větších obcích. I když u varianty I s FVE je kratší návratnost, tak po ukončení podpory výkupní ceny od r. 2014, bude tato varianta mít podobnou ekonomickou návratnost jako varianta II.

8. SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ V TEXTU

Obrázky:

Obrázek 2—1 Atlas podnebí České republiky, Vydal ČHMÚ [6]	- 21 -
Obrázek 2—2 P-N přechod [10]	- 22 -
Obrázek 2—3 Monokrystalický křemíkový Solární článek [11]	- 23 -
Obrázek 2—4 Složení materiálu solárního panelu [14]	- 25 -
Obrázek 4—1 Topologie Off - grid systému	- 32 -
Obrázek 4—2 Výřez vybraného objektu pro návrh	- 34 -
Obrázek 4—3 Olověná solární baterie [19]	- 44 -
Obrázek 4—4 Baterie LiFeYPO [20].....	- 45 -
Obrázek 4—5 Blokové schéma kogenerační jednotky	- 48 -
Obrázek 4—6 Porovnání využití tepelné a elektrické energie	- 48 -
Obrázek 4—7 V panel Schutten [20]	- 51 -
Obrázek 4—8 Hybridní měnič Vertex [24].....	- 52 -
Obrázek 4—9 Ukázka vybraného záložního zdroje (trakční akumulátor) [20]	- 53 -
Obrázek 4—10 Řez kotle Vitotwin 300-W	- 54 -
Obrázek 4—11 Schéma zapojení Off-grid systému pro FVE.....	- 57 -
Obrázek 4—12 Schéma zapojení Off-grid systému pro MKGJ	- 58 -

Grafy:

Graf 1-1 Podíl obnovitelných zdrojů energie ve společenských zemí EU [1]	- 12 -
Graf 1-2 Výroba elektřina z OZE pro rok 2010	- 14 -
Graf 1-3 Vývoj výroby z OZE a její podíl na hrubé domácí spotřebě elektřiny [4]	- 15 -
Graf 1-4 Připojení OZE do DS ČEZ Distribuce a.s k 30. 6. 2012	- 17 -
Graf 3-1 Rozložení výkonu OZE dle jednotlivých typů	- 28 -
Graf 3-2 Porovnání instalovaného a max. soudobého výkonu na hladině vvn	- 28 -
Graf 3-3 Porovnání instalovaného a max. soudobého výkonu na hladině vn	- 29 -
Graf 3-4 Velikost vyrobené energie v závislosti na instalovaném výkonu	- 30 -
Graf 3-5 Dodávka a odběr jalové energie při dodávce činného výkonu u FVE	- 30 -
Graf 3-6 Dodávka a odběr jalové energie při odběru činného výkonu u FVE.....	- 31 -
Graf 4-1 Vývoj výkupních cen FVE, dle tabulky 4.1	- 33 -
Graf 5-1 Vyhodnocení finančních toků v 15 letech s FVE	- 61 -
Graf 5-2 Vyhodnocení finančních toků v 15 letech s MKGJ.....	- 63 -
Graf 10-1 Závislost dodávky činného výkonu na čase	- 75 -

Tabulky:

Tabulka 1.1 Rozdělení výroby z OZE.....	- 15 -
Tabulka 1.2 Připojené OZE do DS ČEZ Distribuce a.s na hladinách VVN, VN a NN.....	- 17 -
Tabulka 2.1 Porovnání dvou struktur FV článku	- 25 -
Tabulka 2.2 Energetická náročnost	- 26 -
Tabulka 3.1 Rozdělení OZE dle výkonů	- 28 -
Tabulka 4.1 Vývoj výkupních cen slunečních elektráren	- 32 -

Tabulka 4.2 Používané spotřebiče a jejich celková spotřeba	- 35 -
Tabulka 4.3 Změřená spotřeba elektřiny rodinného domu	- 36 -
Tabulka 4.4 Spotřeba v zimním období	- 36 -
Tabulka 4.5 Potřebná energie tepla podle programu Protech	- 38 -
Tabulka 4.6 Spotřebiče ve Standby režimu.....	- 40 -
Tabulka 4.7 Rozdělení spotřebičů dle priority používání	- 40 -
Tabulka 4.8 Používané spotřebiče po omezení celkové spotřeby	- 41 -
Tabulka 4.9 Porovnání stavu před a po úspoře	- 41 -
Tabulka 4.10 Výroba energie FV panelů při výkonu 6 kW s rozdílným sklonem [22].....	- 43 -
Tabulka 4.11 Porovnání jednotlivé spotřeby.....	- 50 -
Tabulka 4.12 Náklady za elektřinu a TUV dle tarifu D26d	- 56 -
Tabulka 4.13 Návrh varianty I.	- 57 -
Tabulka 4.14 Celková spotřeba bez využití bojleru	- 58 -
Tabulka 4.15 Návrh varianty II.	- 59 -
Tabulka 5.1 Investiční náklady Varianty I.	- 60 -
Tabulka 5.2 Přehled finančních toků v 15 letech s FVE.....	- 61 -
Tabulka 5.3 Investiční náklady Varianty II.	- 62 -
Tabulka 5.4 Dotace z kombinované výroby elektřiny a tepla.....	- 63 -
Tabulka 5.5 Přehled finančních toků v 15 letech s MKGJ.....	- 63 -
Tabulka 6.1 Shrnutí hodnot jednotlivých variant.....	- 64 -
Tabulka 10.1 Výřez odečtených hodnot výkonu v časovém rozmezí 12,5 hodiny.....	- 74 -

9. LITERATURA

- [1] [cit. 20. 11. 2012]. Dostupné na: <<http://www.nazeleno.cz/energie/energetika/cez-obnovitelne-zdroje-rostou-solarni-a-vetrna-energie-ne.aspx>>
- [2] [cit. 20. 11. 2012]. Dostupné na: <www.czrea.org>
- [3] [cit. 20. 11. 2012]. Dostupné na: <<http://www.ceskaenergetika.cz>>
- [4] [cit. 5. 12. 2012]. Dostupné na:
<http://pandatron.cz/?3228&konec_podpory_obnovitelnych_zdroju_energie>
- [5] [cit. 5. 12. 2012]. Dostupné na: <<http://www.tzb-info.cz/5154-zprava-pacesovy-komise-z-pohledu-oze>>
- [6] [cit. 13. 12. 2012]. Dostupné na:
<<http://solarnielektrarny.webnode.cz/news/slunecni-svit/>>
- [7] [cit. 13. 12. 2012]. Dostupné na: <<http://elektrika.cz/data/clanky/princip-fotovoltaickeho-clanku>>
- [8] [cit. 20. 12. 2012]. Dostupné na:
<<http://unikonsol.com/unisolarenergy/technologiefv.html>>
- [9] [cit. 3. 1. 2013]. Dostupné na: <<http://www.suntanzer.cz/cz/energeticky-pruvodce/jak-co-funguje/fotovoltaicka-elektrarna-fve>>
- [10] [cit. 3. 1. 2013]. Dostupné na: <<http://www.zelpage.cz/zpravy/8707>>
- [11] [cit. 3. 1. 2013]. Dostupné na:
<<http://fotovoltaika.falconis.cz/fotovoltaika/index.php>>
- [12] [cit. 7. 1. 2013]. Dostupné na: <<http://www.roadenergy.eu/d32-technologie-vyroby-panelu-html.html>>

- [13] [cit. 7. 1. 2013]. Dostupné na:
<<http://www.americanwaysolar.com/Fotovoltaiicke-panely/aws-Fotovoltaiicke-panely.aspx>>
- [14] [cit. 28. 1. 2013]. Dostupné na: <<http://www.umel.feec.vutbr.cz/onas/mikroelektronika/>>
- [15] [cit. 28. 1. 2013]. Dostupné na: <<http://www.maxisun.cz/clanky/zakladni-pojmy-0>>
- [16] [cit. 30. 1. 2013]. Dostupné na: <<http://www.elcom.cz>>
- [17] [cit. 3. 2. 2013]. Dostupné na: <http://www.ostrovni-elektrarny.cz/index.php?category=fotovoltaiicke-panely&detail=MTAwMDM=&detail_name=fotovoltaiicky-panel-schutten-240wp>
- [18] [cit. 6. 2. 2013]. Dostupné na: <<http://www.schutten-solar.com>>
- [19] [cit. 6. 2. 2013]. Dostupné na: <<http://www.solar-eshop.cz/p/baterie-banner-energy-bull-60/>>
- [20] [cit. 10. 2. 2013]. Dostupné na: <<http://ostrovni-elektrarny.cz>>
- [21] [cit. 11. 2. 2013]. Dostupné na: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>>
- [22] [cit. 23. 2. 2013]. Dostupné na: <<http://www.solarenavi.cz>>
- [23] [cit. 23. 2. 2013]. Dostupné na: <<http://shop.mypower.cz>>
- [24] [cit. 27. 2. 2013]. Dostupné na: <<http://www.onsite.cz/proc.php>>
- [25] [cit. 4. 3. 2013]. Dostupné na:
<<http://www.ekowatt.cz/uspory/kogenerace.shtml>>
- [26] [cit. 15. 3. 2013]. Dostupné na: <<http://www.cez.cz/kogenerace/cs/o-kogeneraci/princip-a-vyhody-male-kogenerace.html>>
- [27] [cit. 15. 3. 2013]. Dostupné na: <<http://www.ckcired.cz/>>
- [28] [cit. 20. 3. 2013]. Dostupné na: <<http://www.sunpi.cz>>
- [29] [cit. 21. 3. 2013]. Dostupné na: <<http://www.tzb-info.cz/>>

10. SEZNAM PŘÍLOH

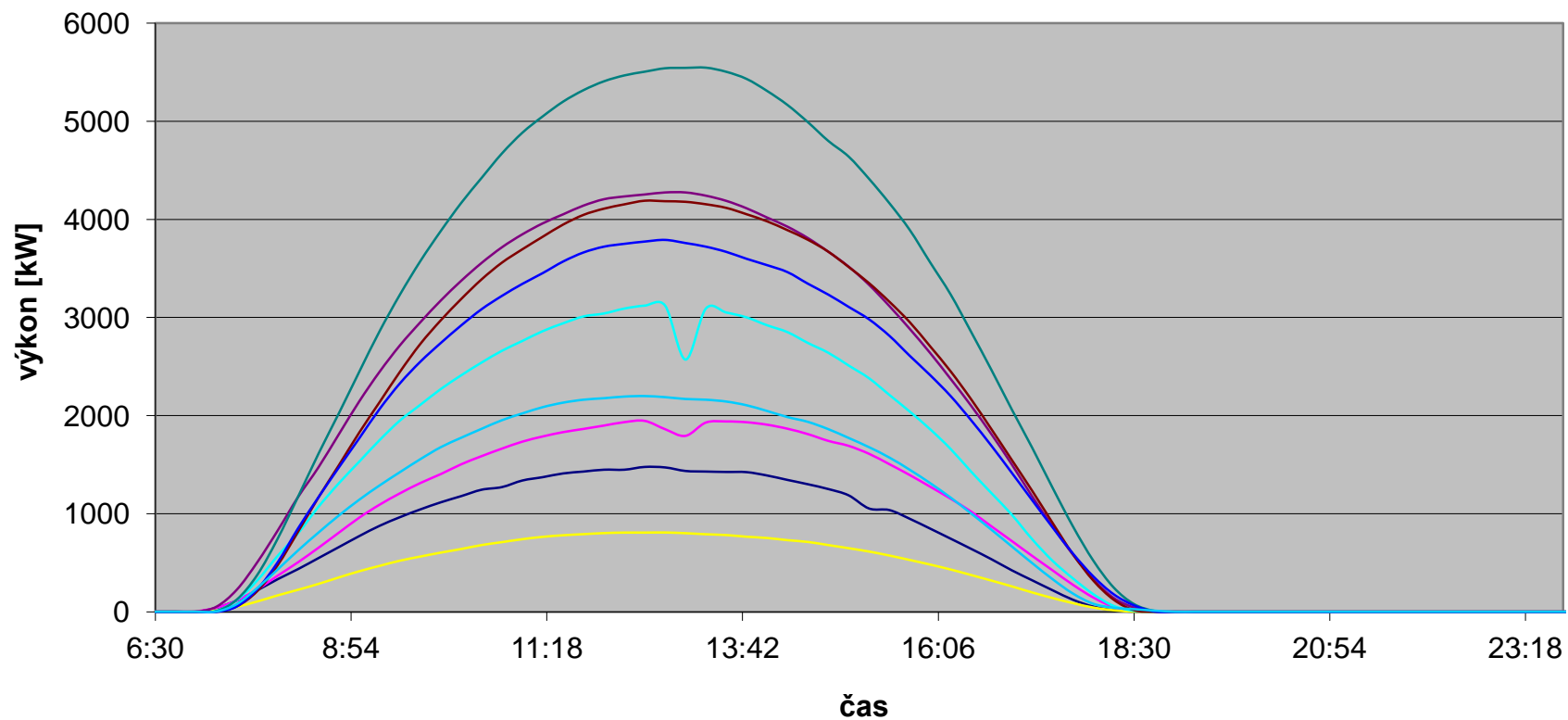
Dodávka činného výkonu do DS společnosti ČEZ Distribuce pro den 1.10. 2011

Fotovoltaika									
	Morava 1	Morava 2	Morava 3	Východ 1	Východ 2	Střed 1	Střed 2	Západ 1	Západ 2
Instalovaný výkon zdroje MGW	1,937	2,5	1,148	4,331	6	5,592	7,781	4,997	2,5
čas	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW
6:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:00	0	4	1	0	0	0	0	0	0
7:15	41	40	13	10	51	2	6	0	2
7:30	115	115	51	120	225	56	124	56	78
7:45	219	226	105	320	504	211	375	231	242
8:00	332	367	167	570	827	475	744	505	431
8:15	435	504	224	800	1169	816	1172	851	625
8:30	547	652	284	1070	1472	1166	1610	1168	807
8:45	659	806	350	1310	1809	1494	2022	1471	981
9:00	771	959	413	1530	2144	1827	2445	1768	1142
9:15	876	1092	468	1750	2447	2138	2860	2067	1288
9:30	964	1208	521	1950	2717	2448	3234	2329	1424
9:45	1043	1313	563	2110	2952	2732	3575	2549	1556
10:00	1115	1404	603	2270	3173	2972	3881	2739	1678
10:15	1178	1504	640	2410	3374	3189	4167	2918	1774
10:30	1243	1587	680	2540	3556	3389	4422	3083	1865
10:45	1270	1664	710	2660	3716	3560	4672	3219	1953
11:00	1337	1735	740	2760	3848	3696	4883	3341	2022
14:00	1388	1908	752	2920	4019	3981	5309	3532	2047
14:15	1343	1867	730	2850	3926	3891	5166	3461	1985
14:30	1299	1812	712	2740	3810	3793	4991	3343	1936
14:45	1250	1743	680	2640	3671	3672	4800	3232	1862
15:00	1186	1692	648	2510	3519	3516	4640	3107	1772
15:15	1052	1611	614	2380	3333	3351	4413	2980	1678
15:30	1036	1505	573	2210	3116	3161	4164	2812	1572
15:45	947	1394	528	2040	2883	2952	3891	2608	1447
16:00	847	1275	481	1860	2637	2706	3560	2411	1311
16:15	745	1153	431	1660	2374	2452	3235	2199	1164
16:30	642	1022	375	1430	2102	2169	2855	1954	1003
16:45	536	871	318	1210	1811	1863	2466	1693	837
17:00	423	721	259	990	1502	1549	2062	1417	666
17:15	321	569	197	740	1176	1234	1672	1138	496
17:30	220	422	140	520	870	907	1264	861	332
17:45	123	274	88	340	582	587	869	594	185
18:00	53	144	43	180	329	318	520	361	81
18:15	15	48	15	60	140	123	246	179	41
18:30	2	6	1	10	42	16	77	66	26
18:45	0	0	0	0	3	0	8	4	11
19:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabulka 10.1 Výřez odečtených hodnot výkonu v časovém rozmezí 12,5 hodiny

Průběh dodávky činného výkonu FVE do DS dne 1.10.2011

— Morava 1 — Morava 2 — Morava 3 — Východ 1 — Východ 2 — Střed 1 — Střed 2 — Západ 1 — Západ 2



Graf 10-1 Závíslost dodávky činného výkonu na čase

11. Použité zkratky

Ah	Ampér hodina - jednotka kapacity
CO ₂ , SO ₂	Oxid uhličitý resp. Oxid siřičitý
ČEZ	České energetické závody
ČR	Česká republika
DS	Distribuční síť
ERÚ	Energetický regulační úřad
EU	Evropská Unie
FV panel	Fotovoltaický panel
FVE	Fotovoltaická elektrárna
J	Joule - jednotka práce
kV	kiloVolt - jednotka napětí
kW, MW	kiloWatt resp. MegaWatt, jednotka energie - jednotka výkonu
kWh, MWh, GWh, TWh	kiloWatt hodina, MegaWatt hodina, GigaWatt hodina, TeraWatt hodina - jednotka energie
LED žárovka	Dioda emitující světlo (Light Emmitting Diode)
MKGJ	Mikro-kogenerační jednotka
OZE	Obnovitelné zdroje energie
P-N	Rozhraní mezi polovodičem typu P a typu N
TUV	Teplá užitková voda
VTE	Větrná elektrárna
vvv, vn, nn	hladina velmi vysokého, vysokého a nízkého napětí
η_R	Účinnost rozvodu tepelné energie [-]
η_o	Účinnost obsluhy (regulace) [-]
η_k	Účinnost zdroje tepla (kotle) [-]