



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2018

Bc. Petr Fojtíček

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra měření

Autonomní systém rekreačního objektu

Autonomous system of recreational object

Autor: **Bc. Petr Fojtíček**

Studijní program: **Inteligentní budovy**

Vedoucí práce: **Ing. Hrzina Pavel, Ph.D.**

Čestné Prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a konzultanta a používal jsem pouze literaturu v práci uvedenou. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti půjčování nebo zveřejňování mé diplomové práce nebo její části se souhlasem katedry.

V Praze dne 8. 1. 2019

Petr Fojtíček

Podpis:.....

Poděkování

Poděkovat bych chtěl firmě Manumade s.r.o., že mi umožnila podílet se na projektu rekonstrukce rekreačního domu na Šumavě. Další poděkování patří firmě Intersekce alternativní energie s.r.o. za odborné konzultace a za možnost spolupráce při měření a navrhování fotovoltaické elektrárny. Poděkování také patří vedoucímu práce panu Ing. Pavlu Hrzinovi, Ph.D. za vstřícnost a odbornost při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Michalu Kabrhelovi, Ph.D. za vedení v předdiplomovém projektu. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat za trpělivost rodiny a mých nejbližších.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Fojtíček** Jméno: **Petr** Osobní číslo: **406065**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra měření**
Studijní program: **Inteligentní budovy**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Autonomní systém rekreačního objektu

Název diplomové práce anglicky:

Autonomous system of recreational object

Pokyny pro vypracování:

- 1) Navrhněte koncepci autonomního systému pro zásobování rekreačního objektu elektrickou a tepelnou energií s využitím FVE a kogenerační jednotky.
- 2) Navrhněte akumulační systémy objektu. (baterie, akumulace tepla)
- 3) Vytvořte model chování objektu v různých situacích. (jaro, léto, podzim, zima...)
- 4) Na základě modelu chování definujte algoritmy pro řídicí jednotku objektu. V případě, že to bude vhodné, využijte předpovědní systém (PV Forecast).

Seznam doporučené literatury:

- [1] Bateriové úložiště 70kWh firmy BMZ řízené Foxtrotem v Univerzitním centru energeticky efektivních budov. TZB Info [online]. Praha: Topinfo, 2017, 28.2.2017 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/120310-bateriove-uloziste-70kwh-firmy-bmz-rizene-foxtrotem-v-univerzitnim-centru-energeticky-efektivnich-budov>
- [2] STANĚK, Kamil. Fotovoltaika pro budovy. Praha: Grada pro Katedru konstrukci pozemních staveb Fakulty stavební Českého vysokého učení technického v Praze, 2012. ISBN 978-80-247-4278-6.
- [3] CHEN, C. Julian. Physics of solar energy. Hoboken, N.J.: John Wiley, 2011. ISBN 978-0-470-64780-6.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Pavel Hrzina, Ph.D., katedra elektrotechnologie FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **26.09.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: _____

Platnost zadání diplomové práce:

do konce zimního semestru 2019/2020

Ing. Pavel Hrzina, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

18.12.2018
Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Anotace:

Tato diplomová práce se zabývá návrhem autonomního systému rekreačního objektu na Šumavě. V návrhu je použita kogenerační jednotka se Stirlingovým motorem pro přeměnu tepelné energie na elektrickou. Jako doplňkový zdroj je použita fotovoltaická elektrárna. Práce obsahuje také návrh akumulčního systému tepelné i elektrické energie. Zabývá se inteligentním řízením toků energií a předpovídáním krizových situací.

Klíčová slova: Kogenerace, Stirlingův motor, fotovoltaická elektrárna, akumulace energie, autonomní systém.

Abstract:

This master's thesis pursues the project of an autonomous system of a holiday resort in Šumava. A cogeneration unit with Stirling's engine for conversion of thermal energy into electrical energy is used in the concept. A photovoltaic power station is used as an additional source. The thesis also includes a concept of an accumulative system for storing thermal energy and electrical energy. It deals with intelligent control of energy flows and predicting crisis.

Keywords: Cogeneration, Stirling's engine, Photovoltaic power plant, energy accumulation, autonomous system.

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ	8
SEZNAM ZKRATEK	8
1 ÚVOD	9
2 STRUČNÝ POPIS ŘEŠENÍ PROJEKTU	10
2.1 CHARAKTERISTIKA OBJEKTU	11
2.1.1 <i>Klimatické údaje</i>	11
2.1.2 <i>Původní objekt</i>	12
2.1.3 <i>Návrh rekonstrukce objektu</i>	12
2.2 NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO ŘEŠENÍ AUTONOMNÍHO SYSTÉMU	14
3 VÝPOČTY NUTNÉ PRO NÁVRH A MODELOVÁNÍ SYSTÉMU	15
3.1 VÝPOČET TEPELNÉHO VÝKONU BUDOVY	15
3.2 VÝPOČET TEPELNÝCH ZISKŮ	20
4 NÁVRH AUTONOMNÍHO SYSTÉMU	22
4.1 NÁVRH FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY	22
4.1.1 <i>Výběr vhodných panelů</i>	22
4.1.2 <i>Výpočet špičkového výkonu</i>	23
4.1.3 <i>Měření zastínění</i>	23
4.2 NÁVRH KOGENERAČNÍ JEDNOTKY	24
4.2.1 <i>Stirlingův motor</i>	25
4.2.2 <i>Návrh tepelného zdroje</i>	26
4.3 NÁVRH AKUMULACE ENERGIE	27
4.3.1 <i>Akumulační nádrž</i>	27
4.3.2 <i>Baterie</i>	29
4.4 NÁVRH KRIZOVÝCH ŘEŠENÍ OBJEKTU	30
4.4.1 <i>Motorgenerátor</i>	30
4.4.2 <i>Návrh sporáku na plyn nebo bioplyn</i>	31
4.5 NÁVRH ŘÍZENÍ SYSTÉMU	32
4.5.1 <i>Střídač</i>	33
4.5.2 <i>Inteligentní nabíjení baterií</i>	33
4.5.3 <i>Řídicí jednotka</i>	34
5 MODELOVÁNÍ CHOVÁNÍ BUDOVY	36
5.1 MODEL SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE OBJEKTU	36
5.2 VÝNOSY ELEKTRICKÉ ENERGIE Z JEDNOTLIVÝCH ZDROJŮ	40
5.2.1 <i>Výnos EE z FVE</i>	40
5.2.2 <i>Výnos EE z kogenerační jednotky:</i>	42
5.2.3 <i>Celkové výnosy EE – výstupy</i>	44
5.3 MODEL CHOVÁNÍ OBJEKTU V KRIZOVÝCH SITUACÍCH	45

5.3.1	<i>Letní den s nízkou sluneční aktivitou</i>	46
5.3.2	<i>Letní den s vysokou sluneční aktivitou</i>	47
5.3.3	<i>Zimní mrazivý den s vysokou sluneční aktivitou</i>	49
5.3.4	<i>Zimní teplý den s nízkou sluneční aktivitou</i>	51
5.3.5	<i>Teplý zatažený den v přechodném období</i>	52
6	ZÁVĚR	54
7	LITERATURA	55
	SEZNAM OBRÁZKŮ	58
	SEZNAM TABULEK	59
	SEZNAM PŘÍLOH	61

Seznam symbolů

Symbol	Význam	Jednotka
U	Součinitel prostupu tepla	W/(m ² K)
Q	Tepelný výkon	W
q	Hustota tepelného toku	W/m ²
H_T	Součinitel tepelného výkonu	W/K
\dot{V}	Objemový tok	m ³ /hod
n	Výměna vzduchu	1/hod
E	Energie	Wh

Seznam zkratek

Zkratka	Význam
ČOV	Čistička odpadních vod
DSP	Dokumentace pro stavební povolení
EE	Elektrická energie
FVE	Fotovoltaická elektrárna
FVP	Fotovoltaické panely
FVS	Fotovoltaický systém
TUV	Teplá užitková voda
TZ	Tepelné ztráty
XPS	Extrudovaný polystyren

1 Úvod

Jeden z důležitých trendů stavitelství je rekonstruování původních starých objektů. Oproti stavění nových objektů je tento směr ekonomicky i technologicky mnohem náročnější. Často se i z finančního hlediska vyplatí původní budovu zbourat a postavit „repliku“ objektu z moderních kvalitnějších materiálů. Nehledě na to, že uživatel objektu předejde problémům týkajícím se starých budov, jako jsou například problémy s vlhkostí, statikou, energetickou náročností, nevhodným umístěním a osluněním, drahým provozem a neustálou potřebou něco opravit. Na druhou stranu zbouráním a likvidací starého objektu může místo i nový objekt ztratit kouzlo a ducha toho původního.

V dnešní době si málokdo dokáže představit žít bez elektřiny (internetu, umělého osvětlení, domácích spotřebičů atd.) natož pak spát v místnosti o teplotě menší než 18 °C. Je to komfort, s kterým většina lidí automaticky počítá, i když si možná neuvědomuje, že před sto lety, kdy se staré objekty stavěly, s tímto komfortem ne všichni stavitelé počítali, a tak nám zanechali spoustu krásných domů, ve kterých je dodání moderních prvků opravdovým oříškem.

Dalším podstatným trendem, který se pomalu stává povinností každého investora a stavitele ze zákona, je výstavba pasivních nebo téměř nulových domů. Tento trend zmiňuji, protože jeho snaha o co nejnižší potřebu a spotřebu energie mi připomíná energetickou nezávislost a soběstačnost. Téměř nulovou potřebu energie nemáme šanci u starých objektů zařídit, a tak nastupuje místo pro moderní technologie. Samozřejmě jde něco dohnat dodatečným zateplením, podřezáním objektu nebo dalšími složitými úpravami, vždy bude ale starý dům mít oproti nové budově nějakou vadu.

Poslední výzvou, kterou se dnešní stavitelství zabývá, je výstavba objektů bez přívodu plynu, vody, elektrické energie (EE), odvodu odpadů atd.

Právě tyto tři trendy se v tomto projektu spojily do jednoho. Cílem této práce je tedy navrhnout autonomní systém rekonstruovaného objektu na Šumavě bez možnosti připojení objektu k rozvodné síti. S tímto cílem jsou spojeny další cíle této práce jako je návrh akumulačního systému, vytvoření modelu chování budovy v různých situacích a na základě tohoto modelu definovat algoritmy pro řídicí jednotku objektu.

Na reálném projektu rekonstrukce objektu na Šumavě pracuje firma Manumade s.r.o., která mi umožnila vypracovat tuto diplomovou práci. Ve spolupráci s firmou jsme navrhli zdroj EE (elektrické energie) objektu, kterým je kogenerační jednotka na peletky od rakouské firmy Ökofen s fotovoltaickou elektrárnou. Na realizaci a návrhu bateriového systému a fotovoltaické elektrárny pracuje firma Intersekcce alternativní energie s.r.o., která mi umožnila podílet se na návrhu autonomního systému.

Přínosem této práce je zaznamenat průběh výpočtů a návrhů do tohoto projektu. Nemá sloužit jako výtah teoretických poznatků. Teorii k jednotlivým komponentům uvedu vždy jen nutnou pro vysvětlení funkce jednotlivých zařízení a výpočtů.

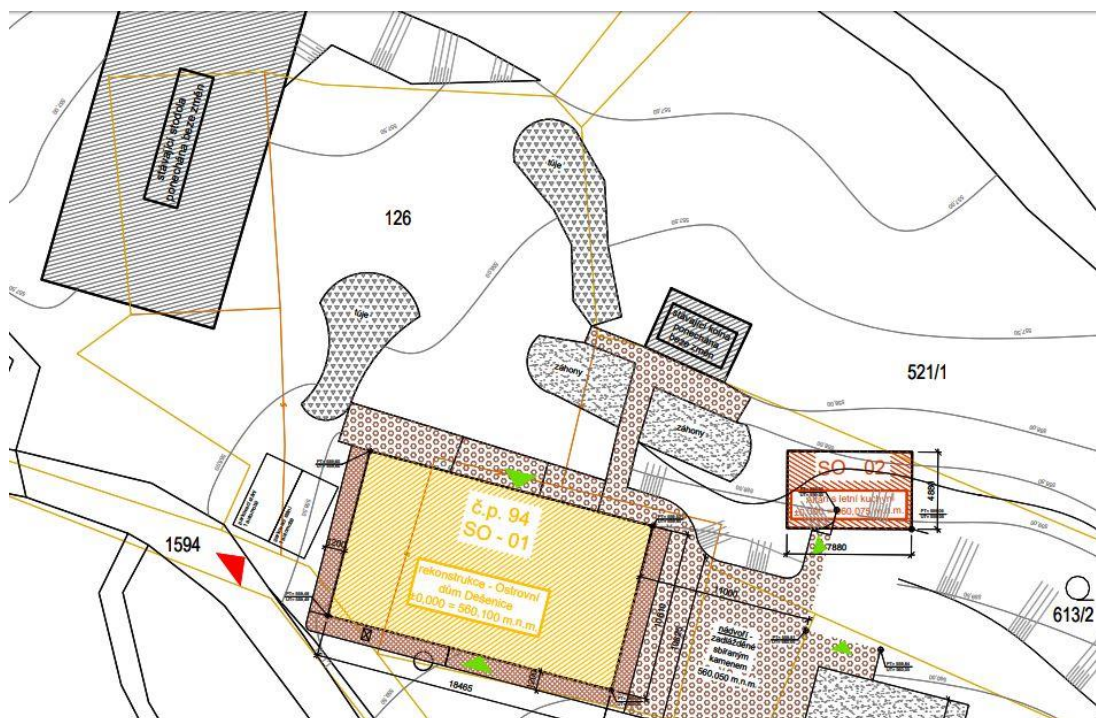
2 Stručný popis řešení projektu

Rekonstrukce tohoto objektu je velmi složitý a zajímavý projekt, který jako zakázku dostala firma Manumade s.r.o. a u kterého jsem dostal možnost podílet se na návrhu a konceptu řešení.

Objekt, který je vzdálen od šumavské vsi více než 2 km, není připojen k rozvodné síti, proto se projekt ubírá cestou návrhu autonomního systému.

Dům má sloužit především k rekreaci, nicméně není vyloučeno, že se v budoucnu bude obývat trvale. I na to musí návrh dbát a již dopředu počítat s osídlením větším počtem osob a nejen nárazově.

2.1 Charakteristika objektu



Obrázek 1: Situace objektu. (Manumade – P. Marek)

Na Obrázku 1 je znázorněna situace objektu. Oranžově je znázorněn obytný prostor (SO 01), červeně (SO 02) je vyobrazen altán s letní kuchyní natočený přesně na jih z důvodu umístění fotovoltaické elektrárny (FVE). Šedě je znázorněna studola a dřevník. Objekt je ve výšce 560 m n. m. Je na pomezí dvou potůčků, kolem pozemku jsou vysoké stromy, takže je poměrně dosti zastíněný a příjezdová cesta je neudržovaná lesní cesta.

2.1.1 Klimatické údaje

Tabulka 1 znázorňuje klimatické údaje pro danou oblast. Návrhová teplota je tedy $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$. Průměrná vnitřní teplota objektu je $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Oblast	Klatovy	jednotky
Návrhová teplota	-17	$^{\circ}\text{C}$
Průměrná teplota (leden)	-2,4	$^{\circ}\text{C}$
Vlhkost	85 %	-
Průměrná vnitřní teplota	20	$^{\circ}\text{C}$
Počet topných dní	300	dní

Tabulka 1: Klimatické údaje. (autor)

2.1.2 Původní objekt

Stará kamenná podsklepená chalupa s malými okny, a silnými stěnami je rozdělena do dvou částí. První část s klenbami a kamennými zdmi silnými 82 cm sloužila jako stáje pro dobytek. Druhá část s kamennými stěnami je podsklepená a sloužila jako obytný prostor. V podkroví se nachází pouze půda. Vytápěna byla jen kuchyň kamny a teplou vodu na sprchování měli ze starých lázeňských kamen. Svítilo se pouze svíčkami. Pitná voda se čerpala z místní studny. Vedle obytného domu stojí ještě stodola a malý dřevník. Celý objekt je schován v lese a je tedy z části zastíněný stromy. Pouze odlehlá část zahrady je více osluněna.



Obrázek 2: Původní stavba – jihovýchodní pohled. (autor – Petr Marek)

2.1.3 Návrh rekonstrukce objektu

Rekonstrukce objektu se odvíjela ze studie firmy Manumade s.r.o. a následných požadavků investora. Rekonstrukce proběhne od úplných základů. V první řadě zmíním výstavbu druhého sklepa, který bude sloužit jako zásobník na peletky pro kogenerační jednotku. Sklep bude velmi precizně izolován od potenciální vlhkosti. Bude obsahovat šnekový dopravník a sací potrubí, kterým si kotel bude sám dopravovat peletky. Sklep bude přístupný z venku, aby se peletky mohly pohodlně do sklepa doplňovat. Jak je uvedeno již výše, objekt je jen těžko přístupný a kamion, který běžně

dováží peletky až k odběratelům, bude mít problém projet místním viaduktem. Proto se navrhl sklep, do kterého se mohou naskladnit peletky například z pytlů a mohou se dovézt traktorem. Sklep má objem cca 10 m³. Obvodové zdi budou podřezány, aby se zamezilo vztlínání zemské vlhkosti. Ve většině místností budou zvětšena okna, aby se dostalo do budovy více světla. Střecha a štíty se kompletně zbourají, aby se mohl udělat betonový věnec. Celé podkroví tedy střecha, štíty a stropy budou postaveny v nízkoenergetickém standardu. Spodní patro zůstane nezateplené kvůli požadavkům investora, kvůli estetičnosti fasády, ve které bude přiznaný kámen ve zdech. V podkroví bude na přání investora střešní prosklení pro lepší osvětlení podkroví. Původní varianta počítá s postavením vikýřů na obou stranách.



Obrázek 3: Jihovýchodní pohled – rekonstrukce. (Manumade – P. Marek)

V podkroví budou dvě ložnice a dvě koupelny pro případné pronajímání pokojů pro Airbnb (poskytování krátkodobých ubytovacích služeb).

V technické místnosti budou umístěny technologie pro vytápění a výrobu EE (elektrické energie) ze Stirlingova motoru, pro akumulaci tepla i EE a pro rekuperaci. Původní návrh rekonstrukce je s rekuperací, nicméně bez zateplených stěn v přízemí postrádá rekuperace smysl a je otázkou, zda nebude zbytečná. Kvůli modernímu propojení dvou pater otevřeným stropem

nelze zajistit rekuperaci pouze v horním patře. Nejde totiž zajistit vzduchotěsnost horního patra nezávisle na spodním. Nabízí se zde pouze parciální rekuperace pro dva oddělené pokoje s koupelnami. Bez rekuperace by se nemuselo totiž tolik dbát na těsnost obálky a rekonstrukce by mohla vyjít o něco levněji. Nicméně v této diplomové práci se s centrální rekuperací počítá.

Celý projekt se snaží o ekologičnost materiálů, ze kterých bude rekonstrukce prováděna. Podkroví bude převážně ze dřeva. Zateplení štítů je navrženo z Multiporu od firmy Ytong. Dokonce ani podlahové topení nebude položeno s XPS polystyrenem, nýbrž s dřevovláknitými deskami. Celý systém podlahového vytápění je navržen od firmy JUPITER-system s.r.o.

2.2 Návrh technologického řešení autonomního systému

Jak jsem uvedl výše, objekt je zcela osamocený, pouze cca 300 metrů od něj se nachází další objekt, který je také osamocený a ani jeden z objektů není připojen k žádné veřejné síti (ať už elektrické nebo vodovodní).

Pro tepelnou pohodu a pro komfortní bydlení bylo třeba navrhnout zcela autonomní systém. Komfortním bydlením se rozumí to, že si uživatelé domu mohou svítit, vařit, prát, používat běžné domácí spotřebiče a mimo jiné se nestarat o likvidaci odpadních vod nebo o přívod pitné vody do objektu.

FVE (fotovoltaická elektrárna) dimenzována tak, aby pokryla spotřebu EE v zimě, by byla v této stinné oblasti velmi rozlehlá a v létě by nenašla své uplatnění, neboť by nebyly kam dodávat přebytky energie. Také umístění FVE v objektu by bylo velmi problematické, protože se objekt nachází ve stinné oblasti. Využitelná je východní strana střechy stodoly, která ale není v takovém stavu, že by bez oprav unesla fotovoltaické panely. Druhou možností pro umístění fotovoltaických panelů (FVP) je jižní střecha navrženého altánu s letní kuchyní, který byl navržen právě jako nosič FVP.

Proto se zde nabízí kogenerační jednotka s FVE jako doplňkovým zdrojem. Obecně se totiž dá říct, že když svítí slunce, je teplo a když nesvítí, je zima. Když je zima, produkuje EE kogenerační jednotka, když je teplo (svítí slunce) vyrábí EE FVE. Kogeneračních jednotek je mnoho. Požadavky byly takové, aby potřebovala minimum údržby, aby byla co nejvíce samostatná. Kvůli složitému dopravování zemního plynu se ukázalo jako nejjednodušší řešení navrhnout kotel na peletky od firmy Ökofen s integrovaným Stirlingovým motorem.

Zpět k fotovoltaice. Objekt se nachází v CHKO Šumava a o umístění fotovoltaických panelů rozhoduje památkový ústav. Památkový ústav bohužel rozhodl, že FVE nesmí být z klasických panelů, ale že musí napodobovat tvar eternitových tašek.

Objekt samozřejmě musí mít akumulční systém jak na teplou vodu, tak na EE. Kompletní návrh a instalaci fotovoltaiky a akumulace EE dostala na starost firma Intersekce alternativní energie s.r.o.

Rekuperace, pokud se nakonec bude instalovat, by měla být od firmy Zehnder Group Czech Republic s.r.o. Pro likvidaci odpadů byla navržena čistička odpadních vod, která může být i několik týdnů bez používání. Pro osvětlení budou pro nízkou spotřebu použity výhradně LED zdroje světla.

Vytápění objektu je navrženo teplovodní podlahové s nuceným oběhem s doplňkovými trubkovými tělesy v koupelnách. Pro tepelnou pohodu v kuchyni a v obývacím pokoji byla navržena krbová vložka právě do obývací místnosti. Sloužit by měla spíše jako estetický prvek a díky jejich sálavé složce i jako příjemný zdroj „uklidňujícího“ tepla.

3 Výpočty nutné pro návrh a modelování systému

3.1 Výpočet tepelného výkonu budovy

Výpočet tepelného výkonu budovy byl proveden dle aktuální normy pro výpočet tepelného výkonu budov ČSN EN 12831-1. Tento výpočet byl vypracován v rámci předmětu Projekt II. pod vedením doc. Ing. Michala Kabrhela, Ph.D. jako podklad pro návržení otopné soustavy objektu. V rámci diplomové práce byl tento výpočet aktualizován pro nové požadavky investora.

Pro výpočet tepelných mostů byla využita zjednodušená metoda, protože přesný údaj o tepelných mostech zatím není znám. Tato metoda přičítá koeficient ΔU k součiniteli prostupu tepla U [$W/(m^2K)$] podle toho, jak kvalitně je konstrukce provedena (viz Tabulka 2). Není sice zcela přesná, ale pro návrh autonomního systému postačí a velmi urychlí výpočet tepelného výkonu. (1)

Přirážka na tepelné mosty ΔU [W/(m²K)]	
Bez tepelných mostů	0,00
Téměř bez tepelných mostů (projektový předpoklad)	0,02
Mírné tepelné mosty	0,05
Běžné tepelné mosty	0,10

Tabulka 2: Přirážka součinitele prostupu tepla na tepelné mosty. (1)

Níže (viz Tabulka 3) jsou uvedeny navržené teploty v jednotlivých místnostech. Dále je v této kapitole naznačen postup výpočtů na jedné z místností. Celý výstup výpočtu v programu Microsoft excel je uveden v Příloze A.

Požadované teploty místností [°C]		
Číslo místnosti	Název místnosti	Návrhová teplota
1. patro		
1	Ložnice	20
2	Šatník	20
3	Koupelna	24
4	Technická místnost	15
5	WC	15
6	Chodba – vstup	15
7	Chodba – sušárna	15
8	Kuchyň + jídelna + obývací pokoj	20
2. patro		
10	Koupelna 1	24
11	Koupelna 2	24
12	Ložnice 1	20
13	Ložnice 2	20
14	Obývací pokoj	20
15	Sklep	5
16	Nevytápěný prostor	5

Tabulka 3: Požadované teploty jednotlivých místností. (autor)

Hodnoty součinitelů prostupu tepla pro jednotlivé konstrukce byly vypočítány v programu TEPLA od firmy KCAD (Svoboda software). Tyto hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 4.

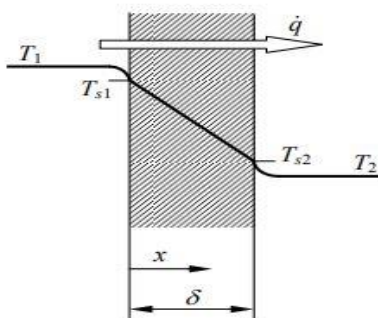
Konstrukce	Součinitel prostupu tepla U [W/(m ² K)]
Obvodová stěna (82 cm)	1,462
Obvodová stěna (52 cm)	1,309
Příčka 150 mm	0,764
Příčka 300 mm	0,419
Příčka kamenná	1,299
Podlaha nad zeminou	0,095
Podlaha nad sklepem	0,12
Dřevěný strop	0,627
Strop nad klenbou	0,223
Střecha	0,119
Okno 1	0,82
Okno střešní	1,3
Dveře	1,1
Štít	0,122
Štít ztužující pilíře	1,258
Obvodová stěna 2NP	0,266

Tabulka 4: Součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí. (autor)

Celý postup včetně všech vzorců a koeficientů nebudu uvádět. Pouze principálně nastíním, jak se tepelná ztráta počítá.

Tento výpočet je počítán pro dimenzování otopných ploch. Je tedy detailnější než zjednodušená výpočtová metoda, která by v našem případě návrhu autonomního systému stačila, nicméně o to přesnější výsledky při návrhu budou k dispozici. Jedná se o součet tepelné ztráty prostupem obvodových konstrukcí a tepelné ztráty větráním.

Výpočet prostupem se dělí na jednotlivé případy. Nejjednodušším je tepelná ztráta do venkovního prostředí. Základní rovnice vychází z Fourierovy – Kirchhoffovy rovnice vedení tepla. Níže (viz Obrázek 4) je vidět teplotní pole ovlivněno jak konvekcí, tak vedením tepla skrz stěnu. Celkovou hustotu tepelného toku mezi vnitřní a vnější teplotou q [W/m²] stačí vynásobit plochou konstrukce a dostaneme hodnotu tepelného výkonu Q [W]. (2)



Obrázek 4: Teplotní pole při stacionárním prostupu tepla rovinnou stěnou.

Tabulka 5 nastiňuje výpočet TZ prostupem v jedné místnosti. Norma zpřesnila výpočet především pro prostup tepla podlahami do přilehlé zeminy. V tomto výpočtu se uvažuje vliv podzemní vody, přepočítává se součinitel prostupu tepla U na ekvivalentní součinitel, který zohledňuje typologii podlahy a také to, jak moc je budova zapuštěna v zemi. Zohledňuje vliv ročních změn venkovní teploty a rozdíl mezi průměrnou a výpočtovou venkovní teplotou. Ve výpočtu se také zohledňuje prostup tepla přes nevytápěné prostory. (3)

Tabulka pro výpočet tepelné ztráty dle ČSN EN 12831											
1. patro											
NÁZEV MÍSTNOSTI: Ložnice (1. patro)						Vypracoval/a: Petr Fojtíček jr.					
Označení konstrukce	Plocha konstrukce						Součinitel prostupu tepla	Přirážka na tepelné mosty	Rozdíl vnitřní a návrhové teploty	Součinitel tepelné ztráty prostupem	Návrhová tepelná ztráta prostupem $\Phi_T = H_T \cdot (\Theta_i - \Theta_e)$
	délka	šířka nebo výška	plocha	Počet otvorů	Plocha otvorů	Plocha bez otvorů					
						A	$\frac{U}{U_{ekv}}$	ΔU	$^{\circ}\text{C}$	H_T	Φ_T
Jednotky:	m	m	m ²	-	m ²	m ²	W·m ⁻² ·K ⁻¹	$^{\circ}\text{C}$	W K ⁻¹	W	
Obvodové zdi	12,95	2,65	34,24	3	7,04	27,20	1,462	0,05	37	41,13	1923,0
Okno velké	0,95	2,20	2,09	2		4,18	0,820	0,02		3,51	
Okno největší	1,30	2,20	2,86	1		2,86	0,820	0,02		2,40	
Podlaha	3,83	6,46	24,73			24,73	*0,16	0,02		3,47	
Strop-koupelna	2,38	2,36	5,61			5,61	0,627	0,02		-0,39	
Strop	1,30	2,36	3,07			3,07	0,627	0,02		0,80	
Příčka kámen	3,40	2,30	7,82			7,82	1,299	0,02		1,39	
Příčka 150 mm	3,19	2,30	7,33	1	1,74	5,59	0,764	0,02		-0,47	
Dveře vnitřní	0,80	2,18	1,74			1,74	1,100	0,02		-0,21	
Dveře venkovní	1,00	2,18	2,18			2,18	1,100	0,02		0,33	

Tabulka 5: Výpočty tepelných ztrát prostupem pro ložnici. (autor)

Tepelná ztráta větráním dle normy se počítá pro nucené větrání a pro přirozené větrání jinak. V našem případě se jedná o nucené větrání. Nicméně tepelná ztráta větráním pro rekuperační jednotky se snadněji vypočítá z fyzikálního principu výměny vzduchu ze vzorce $Q = \frac{V}{3600} \rho c (t_p - t_e) [W]$. Zjednodušeně řečeno šlo ve výpočtu především o to, správně vypočítat průměrnou hodnotu odváděného vzduchu

(z koupelen 24 °C a z ostatních místností 20 °C) a z ní vypočítat teplotu přiváděného vzduchu po ohřátí čerstvého venkovního vzduchu. (4)

Teploty odváděného a přiváděného vzduchu jsou v tabulce 6 (stále se počítá tepelná ztráta pro návrhovou teplotu -17 °C). Výpočet obsahuje mírnou rezervu. Počítá totiž s rekuperací 80 %, nicméně rekuperační jednotky od firmy Zehnder garantují účinnost až 93 % (s entalpickým výměníkem 86 %), což sníží celkovou tepelnou ztrátu větráním o 650 W (300 W).

Výpočet teploty přívodu vzduchu	Množství vzduchu [m ³ /hod]	Teplota vzduchu [°C]
Přívod	355,12	14,43
Odvod celkem	350,00	22,29
Odvod vzduchu z:		
kuchyní	150,00	20
koupelen	200,00	24

Tabulka 6: Vypočítané teploty přiváděného a odváděného vzduchu. (autor)

Tepelná ztráta větráním						
NÁZEV MÍSTNOSTI: Ložnice (1. patro)						
Objem vzduchu v místnosti	Minimální hodnota odváděného vzduchu	Požadovaná výměna vzduchu	Měrná tepelná kapacita vzduchu	Hustota vzduchu	Součinitel tepelné ztráty větráním $H_V = V_m \cdot n \cdot c_p \cdot \rho$	Návrhová tepelná ztráta větráním $\Phi_V = H_V \cdot (\Theta_i - \Theta_e)$
V_m	V_{min}	n	c_p	ρ	H_V	Φ_V
m ³	m ³ /hod	h ⁻¹	Wh kg ⁻¹ ·K ⁻¹	Kg.m ⁻³	W K ⁻¹	W
56,88	25,00	0,5	0,28	1,29	10,27	57,2

Tabulka 7: Tabulka výpočtu tepelné ztráty větráním pro ložnici. (autor)

Celková tepelná ztráta (viz Tabulka 8) vyšla mírně přes 16 kW, což je poměrně vysoká hodnota. Je třeba konstatovat, že hodnota tepelných ztrát se zateplením

například systémovým řešením UdiRECO® od firmy CIUR a.s. (vyrábí ekologické dřevovláknité zateplení kopírující křivolaký povrch stěn, takže je ideální pro rekonstrukce) by byla něco málo přes 11 kW. Spotřeba pelet bude o to vyšší, nicméně je nutné poznamenat, že čím více bude topit kotel na peletky, tím více vyrobí Stirlingův motor EE, což bude patřičně popsáno v dalších kapitolách.

Celkem ztráta prostupem	10749,0 W	66,3 %
Celková ztráta větráním	5467,5 W	33,7 %
Celková ztráta	16216,5 W	100 %

Tabulka 8: Celkové tepelné ztráty objektu. (autor)

3.2 Výpočet tepelných zisků

Výpočet tepelných zisků bude potřebný v krizových dnech pro modelování co nejpřesnějšího chování budovy. V případě, kdy se jedná o každou kilowatthodinu vyrobené nebo spotřebované energie, je potřeba určit co nejpřesněji tepelnou zátěž budovy. V této kapitole budou uvedeny výpočty střechními okny, okny na východ a na jih. Jiné tepelné zisky (ať už od vnitřních zdrojů tepla nebo prostupem tepla stěnami) se dají zanedbat. Zisky od vnitřních zdrojů budou minimální a zisky prostupem tepla stěnami budou nejvyšší především v létě, kdy jsou tepelné ztráty nulové, takže kogenerační jednotka neběží a nevyrábí žádnou EE, proto tepelné zisky nemohou ovlivnit výrobu EE ze Stirlingova motoru.

Pro silnou stěnu více než 45 cm se počítá tepelný zisk prostupem stěny ze vzorce $Q = U \cdot S \cdot (t_m - t_i)$, kde U je součinitel prostupu stěny ve $W/(m^2 \cdot K)$, S je plocha stěny v m^2 , t_m je průměrná rovnocenná sluneční teplota vzduchu za 24 hodin ve $^{\circ}C$ a t_i je vnitřní návrhová teplota také ve $^{\circ}C$. Právě teplota t_m je v přechodném období a v zimě podobná nebo dokonce nižší než návrhová teplota objektu, proto lze hodnotu prostupem tepla stěnami zanedbat. (5)

Výpočet tepelných zisků solární radiací byl proveden v tabulkovém kalkulátoru excel (příloha B). Hodnoty výšky slunce nad obzorem a konkrétní hodnoty intenzity přímé solární radiace byly použity z návrhového programu PVGIS. Jsou tedy co nejpřesnější pro danou oblast a pro dané zastínění. Ostatní hodnoty, jako například sluneční deklinace, byly vypočítány ze vzorců dle normy. Pro každé okno a pro každou hodinu záření byl vypočítán úhel mezi normálou ozářené plochy a slunečními paprsky. Pro šikmou stěnu se výpočet počítal ze vzorce:

$$\cos\theta = \sin(h) \cdot \cos(\alpha) + \cos(h) \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\alpha - \gamma),$$

kde a je azimut slunce, γ je azimutový úhel normály stěny, h je výška slunce nad obzorem a α je úhel mezi vodorovnou rovinou a nakloněnou ozářenou plochou.

Rozepisovat zde celý postup výpočtu je zbytečně zdlouhavé. Postup pouze slovně okomentuji. Celý výpočet je uveden v Příloze B.

Celkový výkon se přepočítává z celkové intenzity sluneční radiace procházející jednoduchým zasklením vynásobené stínícím součinitelem, který je pro každý druh zasklení jiný (dvojskla, reflexní skla atd.). Výkon je závislý na tom, na jak velkou část okna dopadají sluneční paprsky přímo a kolik pouze ve formě difúzního záření. Proto hrají roli jednotlivé stínící prvky, které mají vliv na jednotlivé zastínění každého okna během celého dne. Výpočet osluněné části okna je závislý na odstupu okna od slunolamů a hloubce okna. V mém výpočtu se tyto hodnoty počítaly pro každou hodinu během dne. Výpočet také počítá se znečištěním atmosféry v jednotlivých měsících.

Celkové hodnoty tepelných zisků se počítaly pro krizové dny. Letní krizové dny se v potaz neberou, protože kogenerační jednotka není v běhu, a tedy na výnos EE z tohoto zdroje nemají solární zisky žádný vliv. Uvažují se pouze zimní krizové dny a krizový den v přechodném období. V tabulkách 9 a 10 jsou znázorněny hodnoty pro nestíněná střešní okna (stínící součinitel je roven 0,9) a poté pro střešní okna s reflexní vrstvou ($s = 0,3$).

Všechna okna střešní okna nestíněna (0,9)	Hodnota celkových tepelných zisků radiací okny [W]
Zima (zataženo – teplo)	195,1
Zima (jasno – chladno)	1416,8
Podzim (20.10.14) zataženo	293,2

Tabulka 9: Hodnoty tepelných zisků okny pro nezastíněná okna. (autor)

Všechna okna, střešní okna stíněna (0,3)	Hodnota celkových tepelných zisků radiací okny [W]
Zima (zataženo – teplo)	160,9
Zima (jasno – zima)	1000,7
Podzim (20.10.14) zataženo	255,2

Tabulka 10: Hodnoty tepelných zisků okny pro zastíněná okna. (autor)

Pro zastíněná střešní okna jsou hodnoty tepelných zisků radiací nižší, nicméně nedostatky EE navrženého systému nastávají právě v době velmi nízké sluneční aktivity (minimální produkce EE z FVE), a tedy i v době nízkých tepelných zisků.

Hodnoty tepelných zisků pro tyto stinné dny se liší vlivem zastínění skel o desítky wattů, což je zanedbatelné. Proto je zcela na investorovi, zda bude střešní okna pořizovat s reflexní vrstvou. Pomůže to pouze proti letnímu přehřívání podkrovních pokojů, nikoliv pro správný chod systému.

4 Návrh autonomního systému

Pro zcela autonomní systém na Šumavě bez možnosti připojení k rozvodné síti byl navržen fotovoltaický off-grid systém s akumulací s pokrytím spotřeby v době nepříznivých slunečních podmínek kogenerační jednotkou, která zajišťuje jak vytápění budovy, tak pokrytí spotřeby EE. Obecně platí, že když je dlouhodoběji slunečno, roste venkovní teplota vzduchu a naopak. Existují krátkodobější výjimky, které tato práce také monitoruje a řeší adekvátní přizpůsobení systému.

4.1 Návrh fotovoltaické elektrárny

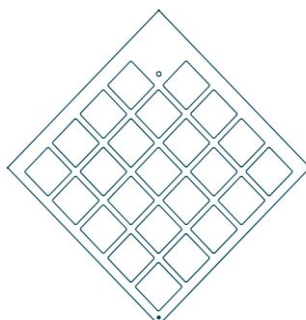
4.1.1 Výběr vhodných panelů

Velikost výkonu FVS se odvíjela od možností místních podmínek. S firmou Intersekce alternativní energie s.r.o. jsme provedli měření zastínění potenciálních umístění FV panelů. Měření bylo provedeno pomocí Solmetric SunEye™. Z tohoto měření vyplývá, že pro umístění FV panelů jsou nejvhodnější dvě místa. Zaprvé střecha stodoly orientovaná na východ, téměř nezastíněna, avšak stodola není v tak dobrém stavu a pro nesení panelů by byla potřeba rekonstrukce. Druhé místo je u východní hranice pozemku, kde pro účely nosiče FV panelů byl navržen altán s letní kuchyní a s posezením, se střechou orientovanou přesně na jih a se sklonem střechy pod úhlem 40°, který svírá s vodorovnou rovinou. Plocha této střechy byla navržena přesně podle panelů od firmy Galaxy Energy GmbH, nicméně tyto panely byly památkovým ústavem zakázány, kvůli tomu, že se objekt nachází v CHKO Šumava. Panely jsou použity takové, které tvoří střešní krytinu a mezi jednotlivými monokrystalickými články propouští část světla. Tím se pod panely tvoří příjemná atmosféra. Pokles výkonu a produkce vlivem omezení odvodu tepla se dá zanedbat. Altán, na kterém jsou panely umístěny, je nevytápěný a panely tvoří provětrávanou střechu. V návrhovém programu PVGIS se ale se ztrátou (14 %), pro vytvoření rezervy systému, uvažuje. Panely musí být ve stejném tvaru, jako je původní střecha ostatních objektů – eternit. Na středo-evropském trhu se vyskytují dvě firmy, které tyto panely vyrábí – německá firma SolteQ a švýcarská firma Sunstyle. Panely jsou mnohem

nákladnější a nemají tolik referencí jako firma Galaxy Energy, nicméně je nutné použít právě tyto panely.

4.1.2 Výpočet špičkového výkonu

Pro návrh v této diplomové práci jsem vybral panely od firmy Sunstyle (viz Obrázek 5). K rozměrům těchto panelů je ideální změnit rozměry střechy letní kuchyně na rozměry 3,21 x 8,61 m. Celková plocha střechy vychází na 27,6 m². Výkon panelů je 162 Wp/m², celkový výkon by měl tedy být 4477 Wp, nicméně část plochy panelů jsou okrajové panely bez FV článků a po přepočtu vychází hodnota špičkového výkonu na 4033 W. S původně navrženými panely byl špičkový výkon 4480 Wp, takže je výkon FVE o něco nižší, což ale nijak zásadně neovlivní návrh systému. (6)



Obrázek 5: Rozložení FV článků ve čtvercových panelech. (6)

4.1.3 Měření zastínění

Výsledkem měření zastínění pozemku je ukázáno viz Obrázek 6. Jedná se o výstup ze serveru PVGIS (PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTÉM) tzv. horizon file. (7)

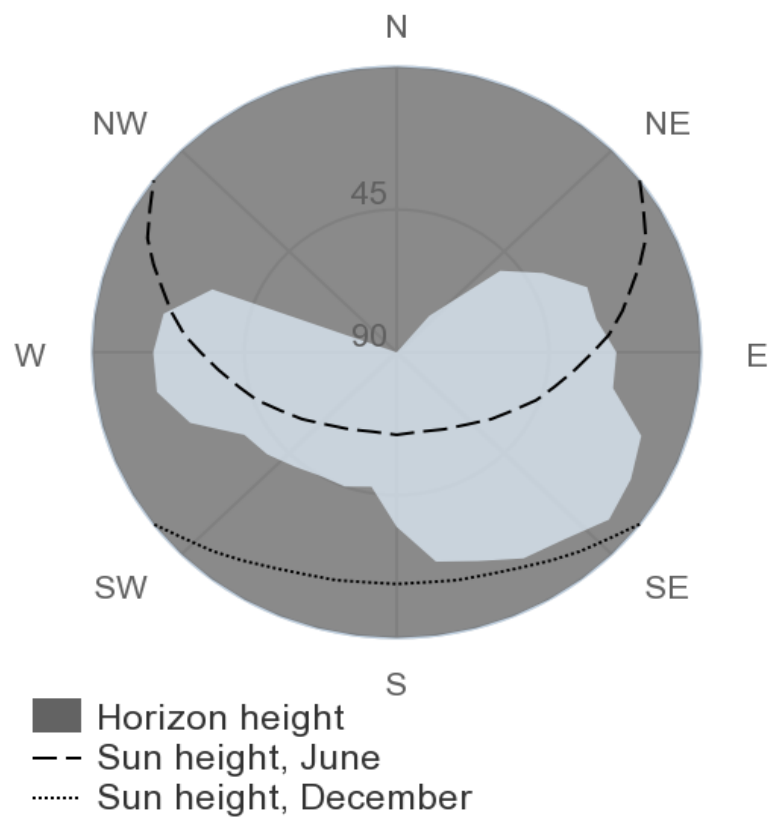
Z obrázku lze vyčíst, že převážně v zimních měsících je v odpoledních hodinách FVE zcela zastíněná. Je to dáno hustými a vysokými stromy na jihozápadě. V prosinci je FVE dokonce odkázána pouze na difúzní záření, které ale při jasném dni není zanedbatelné. Systému zimní zastínění nevadí, protože v zimě plní svou úlohu převážně kogenerační jednotka. Na druhou stranu je třeba zmínit, že měření probíhalo v době, kdy byly stromy neopadané od listí. V zimě tyto stromy opadají a nějaké (avšak těžko odhadnutelné) množství paprsků pronikne na FVP.

Z tohoto důvodu navrhuji použít power optimizer od firmy Solaredge, který dokáže zmírnit všechny typy ztrát způsobené nesouladem panelů, ať už vadou

z výroby, poškozením části panelu nebo zastíněním části panelů. Má skvělou účinnost (až 99,5 %) a v těchto zastíněných podmínkách dokáže zvýšit energii panelů až o 25 %. Dá se propojit s jakýmkoliv typem měniče a dokáže v případě nebezpečí vypnout napětí panelů, takže navíc funguje i jako protipožární ochrana. (8)

Outline of horizon

(C) PVGIS, 2017



Obrázek 6: Zastínění FVE dle azimutu a výšky slunce. (7)

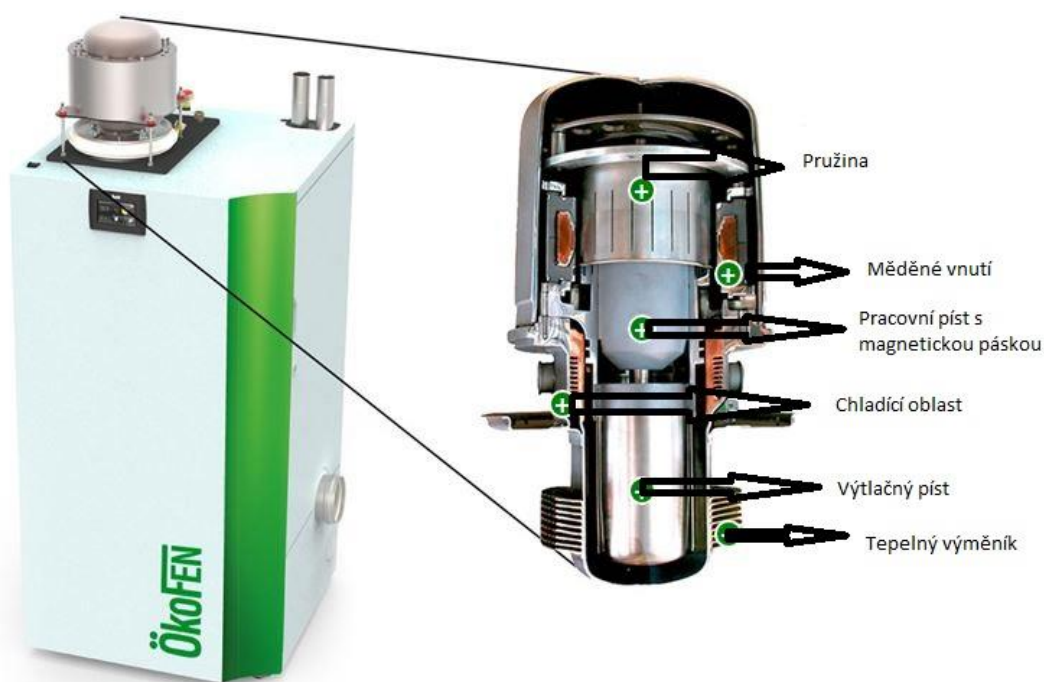
4.2 Návrh kogenerační jednotky

Nápad kogenerace na peletky, nikoliv na zemní plyn nebo bioplyn, který následně spálí hlučný a vysoce údržbový spalovací motor, jsme s firmou Manumade s.r.o. dostali na veletrhu v rakouském Welsu. Firma ÖkoFEN Vertrieb Österreich

GmbH s dlouhou tradicí kotlů na peletky tam představovala kogenerační jednotku na peletky se Stirlingovým motorem jako zdroj EE. Firma zde předváděla již funkční projekt majitelova domu, který díky FVE a kogenerační jednotce zajišťuje neustálou dodávku jak tepelné, tak EE. Když jsme objekt navštívili, zjistili jsme, že již dva roky nepotřebovali ani kilowatu energie dodat z rozvodné sítě. Objekt měl na střeše FVE, která prodávala přebytky do sítě nebo nabíjela akumulátory elektromobilů. Měníč a akumulátor domu byl od firmy Fronius. Kotel nahříval akumulární nádrž a sám si při potřebě nasál peletky ze zásobníku. Celý proces byl monitorován systémem, na kterém byla vidět aktuální spotřeba domu, produkce energie z FVE a ze Stirlingova motoru. Jediná nevýhoda tohoto řešení je pořizovací cena. Smysl to nachází ve své nezávislosti, což je přesně to, co potřebuje objekt na Šumavě.

4.2.1 Stirlingův motor

Stirlingův motor pracuje na roztažnosti tekutiny v závislosti na teplotě. Existuje více řešení, jak tento princip využít k vytvoření točivého momentu. Jeden typ, který je použit v naší navržené kogenerační jednotce a který je znázorněn na Obrázku 7, popíši v této kapitole.



Obrázek 7: Stirlingův motor – popis. (9)

Motor funguje tak, že se zahřeje spodní část motoru, kde je v našem případě výměník tepla, který slouží k lepšímu předání tepla mezi spalinami

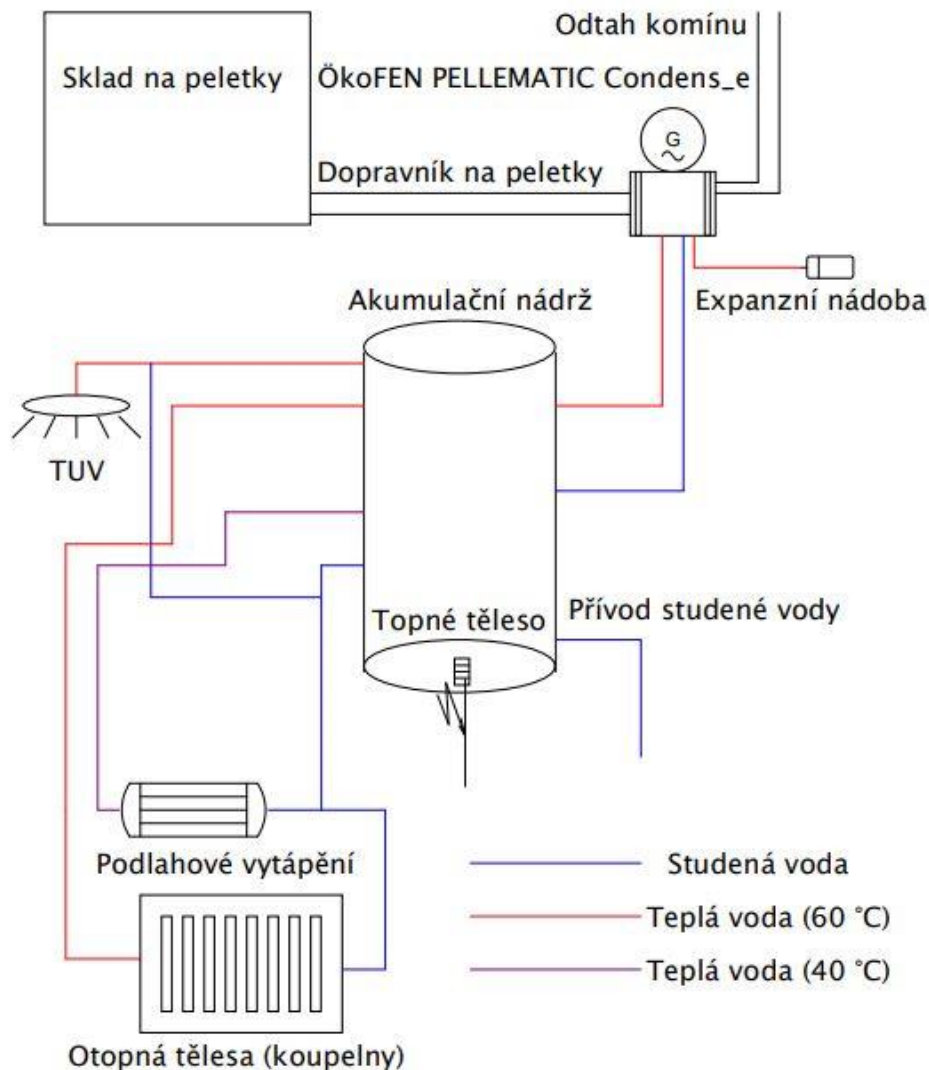
a roztažným médiem motoru. Tímto médiem může být například helium. Výtlačný píst se díky zahřátí helia a jeho roztažnosti pomalu dostává do horní úvratě, kde je tekutina (plynné helium) ochlazována vratnou vodou otopného oběhu (teplota cca 40 °C). Tím tekutina zmenší svůj objem a díky pružině, která je nad pracovním pístem, se dostane výtlačný píst zpět do dolní úvratě. Celý proces má minimální moment síly a jeho roztočení do maximálních otáček trvá poměrně dlouho, nicméně pro výrobu EE, kde stačí, aby magnetická páska kmitala uprostřed vinutí cívky, na které se indukuje napětí, je tento princip ideální. Náběh motoru na maximální otáčky a maximální výkon trvá u tohoto konkrétního motoru necelou hodinu. (9)

4.2.2 Návrh tepelného zdroje

Kotel na peletky má jmenovitý termický výkon 10 kW a špičkový 16 kW. Při jmenovitém výkonu dokáže Stirlingův motor dodávat EE o výkonu 600 W a při špičkovém výkonu kotle až 1000 W. Kotel má samozapalovací zařízení a vlastní zásobník pelet, který dokáže zásobovat kotel až po jeden den běhu kotle při jmenovitém výkonu. Zásobník má senzory k indikaci nedostatku pelet a při nedostatku se sám doplní z centrálního skladu pelet. Kotel není třeba více regulovat. Navržený systém má akumulaci na 1000 litrů. Stačí, když se nahřeje akumulace na požadovanou teplotu a dokud neklesne teplota pod určitou hranici, nebude kotel znovu spouštět. Velikost nádrže je zvolena tak, aby kotel necykloval. To znamená, aby co nejméně krát musel zapínat a vypínat, právě kvůli náběhu Stirlingova motoru, protože náběh na maximální výkon trvá téměř hodinu. Ideální tedy je, když je vybitá akumulace a zároveň i baterie. Tím, že se nahřeje akumulace, tím se také dobijí baterie. (10)

Firma ÖkoFEN zjišťuje stav hladiny pelet v zásobníku a zajišťuje jejich doplnění. Obvykle přijede kamion s cisternou na peletky až na místo a „nafouká“ je do zásobníku. Bohužel to v našem případě zřejmě nebude možné kvůli dostupnosti místa, protože cesta vede pod železniční trať viaduktem o rozměrech, kam se kamion zřejmě nevejde. Proto bude muset být dodávka pelet zajištěna jinak (v pytlích a přivezeny například traktorem).

System zapojení kotle a akumulace je znázorněn na další straně (viz Obrázek 8). Návrh akumulace je popsán v kapitole 4.3.1.



Obrázek 8: Zapojení kotle – přívod pelet a oběh vody. (autor)

4.3 Návrh akumulace energie

4.3.1 Akumulační nádrž

Velikost akumulace byla zvolena tak, aby co nejméně cykloval kotel na peletky. Kotel by měl začít spínat, když klesne teplota vody v nádrži pod 30 °C. Nahřátí celé akumulace o objemu 1000 litrů z této teploty na 60 °C trvá kotli při jmenovitém výkonu téměř čtyři hodiny. Pokud ten den budou objekt obývat dvě osoby, doba běhu kotle se téměř o hodinu prodlouží, kvůli spotřebě tepla na TUV. Dle normy je v rodinném domě spotřeba teplé

vody 40 litrů na den a osobu. Dle výpočtů je potřeba dodat do akumulární nádrže teplo o velikosti 8580 Wh, to znamená, že by kotel na peletky o výkonu 10 kW a účinnosti 90 % dodal energii na ohřev TUV za 0,95 hodin. Kdyby nádrž měla pouze 600 litrů, doba ohřevu vody by se zkrátila přibližně o 2 hodiny, kotel by tak musel o to častěji spínat. Naproti tomu větší akumulární jednotka by byla zbytečná. Není třeba nahřívát tak velké množství vody, protože kotel není závislý na uživateli a sepne si sám, kdy je potřeba. Navíc zabírá o to více místa a je také dražší.

Akumulární nádrž by tedy měla obsahovat vývod pro dva topné okruhy. Jeden okruh pro teplejší vodu do trubkových otopných těles v koupelnách a pro nižší teplotu do podlahového vytápění. Hlavním zdrojem by měl být kotel na peletky. V návrhu jsou uvedena také krbová kamna, avšak tato kamna bych doporučoval pouze jako krbovou vložku bez tepelného výměníku do nádrže. Jednak je to zbytečně drahé a složité a v našem případě také nežádoucí. Pro tento systém je totiž lepší, když jakoukoliv potřebu nahřátí vody zajišťuje kotel se Stirlingovým motorem, který k tomu ještě pomáhá pokrývat spotřebu EE. Ve spodní části by měla být instalována patrona o maximálním výkonu 5 kW, která by nahřívala vodu z doplňkových zdrojů (přebytky energie z FVE a ze Stirlingova motoru). Přípravu teplé užitkové vody by měla být zajištěna průtokovým způsobem. Tento způsob je ideální z hlediska kvality teplé vody a TUV nemusí být uchovávána neustále v nádrži, ale pokrývá pouze reálné množství potřeby TUV. (11)

Patronu nainstalovanou do akumulární nádrže je vhodné řídit optimizérem GreenBonO, což je regulátor s plynulou regulací výkonu pro dokonalé využití přebytků jak z FVE, tak ze Stirlingova motoru. Kdykoliv budou nabitě baterie, tak jakýkoliv použitelný výkon, který je aktuálně k dispozici, i když kotel běží na jmenovitý výkon nebo když FVE pracuje na 30 % svého výkonu, dokáže dodat do patrony, která odpovídajícím výkonem začne nahřívát akumulární nádrž. Původní funkce tohoto zařízení je snaha spotřebovat co nejvíce energie z FVE pro vlastní spotřebu a co nejméně toho prodat do sítě. Tato vlastnost se ale hodí i pro autonomní systémy, kde je potřeba inteligentně (dle nastavených priorit) dobíjet baterie nebo nahřívát akumulární nádrž a mít co nejméně nespotřebovaných přebytků EE. Zařízení má spoustu možností díky hardwaru s mnoha vstupy a výstupy. Dokáže také komunikovat po sběrnici RS 485, po které bude komunikovat většina zařízení propojená s řídicí jednotkou, s FVE a se Stirlingovým motorem. Principem tohoto komponentu je pulsní regulace v rozsahu od 0 do 100 % jmenovitého

příkonu daných spotřebičů (v našem případě topná patrona – 5 kW). Topné patroně nevádí, zda běží na plný výkon, nebo nahřívá vodu nižším výkonem, takže není problém maximální přebytky jak ze Stirlingova motoru (1 kW), tak z FVE (4,033 kW) dodávat do nádrže. Pokud teplota vody přesáhne určitou hranici, vypíná se kotel, a tedy i Stirlingův motor a FVE „přehřívá“ nádrž dál. Pokud i tak přehřeje nádrž nad 90 °C, odpojovače odpojí dodávku EE. (12)

4.3.2 Baterie

Výběr druhu baterií určují požadavky, které se od baterie očekávají a také okolní podmínky, ve kterých baterie musí umět pracovat. Požadavky na baterie jsou například: velikost vybíjecího proudu, jmenovité napětí, jejich kapacita, v našem případě bych zdůraznil životnost baterií. Požadavky mohou ale také být na velikost a hmotnost baterií, provozní teplota, doba nabíjení, velikost samovybíjení a jeden z parametrů, který by se neměl opomenout, je cena.

Pro uchování energie k běžné spotřebě rodinného domu byla dlouho nejrozšířenější baterie olověná, avšak baterie z lithia (kvůli závadnosti olova na životním prostředí a také díky její mnohonásobně vyšší životnosti) olověné akumulátory nahradila. Olověné akumulátory nejsou ideální pro cyklické nabíjení a hloubkové vybíjení. Používají se spíše do oblastí, kde jsou potřeba k napájení vysoké proudy, po kratší dobu (např. startovací akumulátor). V běžné domácnosti se maximální proud odebírá při vaření v elektrické troubě, která mívá příkon cca 2,5 kW. Proud potřebný k pokrytí takového příkonu se pohybuje v řádech desítek ampér (u systémů s napětím 48 V), zatímco při startování automobilů se jedná o stovky ampér. Dalším nepoužívanějším adeptem pro akumulaci energie jsou články na principu NiCd a NiMH. Tyto baterie jsou cenově několikrát dražší. Lithiové baterie (především LiFePO₄) se na trhu nejvíce prosadily a jejich cena klesla. Vše díky největší životnosti, která hraje zásadní roli. Díky dlouhé životnosti se investice do systému s těmito akumulátory více vyplácí a cena za uchovanou kilowatthodinu je u Lithium – železo – fosfátové baterie spolu s olověnými akumulátory nejnižší. Životnost této baterie je oproti olověným až 6krát větší. Není divu, že tyto baterie se tak rychle prosadily na trhu a postupně nahrazují akumulátory olověné (i v automobilovém průmyslu). (13)

Velikost kapacity baterií je parametr, který určuje především komfort pro uživatele. Čím více baterie dokáže uchovat energie, tím samozřejmě lépe.

Část kapacity baterií je nezbytně nutná pro provoz budovy samotné. Bez baterií by se kogenerační jednotka sama nespustila (pokud by zrovna nesvítilo slunce a neprodukovala by EE fotovoltaická elektrárna), takže by ani nemohla začít produkovat EE. Hlavní část kapacity je pro komfort samotného uživatele. Uživatel totiž nebude muset v krizových situacích omezovat svou spotřebu. Čím větší množství uchované energie, tím je také větší cena baterií. Pro objekt na Šumavě se navrhl kompromis, který zvládne dodávat EE domu cca 24 hodin bez žádného dalšího zdroje EE při průměrné spotřebě objektu. Jedná se o baterii BYD B-BOX 13,8. Tato baterie s kapacitou 13,8 kWh je vhodná zejména pro hybridní FVE. Má vysokou účinnost (95,3 %) a garantovanou životnost 6000 cyklů a 10 let na 80 % úložné kapacity. Baterie dokáže komunikovat přes sběrnici RS 485, na které komunikuje většina zařízení systému. (14)

4.4 Návrh krizových řešení objektu

V této kapitole se budu zabývat návrhem zařízení, která budou v době vyšší pomocné i uživatelské spotřeby EE nebo nízké produkce EE vlivem dostatečného tepla (minimálních tepelných ztrát budovy a tím krátkým chodem kogenerační jednotky) nebo vlivem nízké intenzity slunečního svitu pomáhat udržovat nebo dodávat EE objektu. Jedná se o zařízení, které dokáže z jiného zdroje než ze slunce a pelet dodat EE. Pro tyto účely navrhuji motorgenerátor. Pro účely snížení spotřeby objektu doporučuji místo elektrického sporáku použít plynový. Obě zařízení popíši detailněji v následujících kapitolách.

4.4.1 Motorgenerátor

Jelikož je celý objekt napájen pouze jednou fází, zařízení, která mají vyšší odběry proudu jako například svářečka nebo okružní pila, nebudou moci být připojeny k tomuto systému. Také proto navrhuji k tomuto systému jako záložní zdroj třífázový motorgenerátor, který bude navíc moci v době, kdy baterie bude vybitá, a přesto bude potřeba EE vyšší, dobít baterii z kapalného paliva.

Výkon tohoto generátoru je potřeba takový, aby zvládl napájet menší třífázový stroj. Třífázový generátor od firmy HERON se jmenovitým výkonem 5 kVA s rezervou pokryje tyto stroje. Zařízení se vyznačuje spolehlivostí a nízkou spotřebou. Zařízení je pouze s ručním startováním, protože bude spouštěno pouze v nouzi. Udržování baterií pro

elektrické startování je komplikované a investiční náklady jsou výrazně vyšší. Pro potřebu dobití baterií (pouze jedna fáze) dokáže zařízení dodávat 1,9 kVA s účinnkem $\cos \varphi = 1$. V tabulce (viz Tabulka 11) je vypočteno, jak dlouho bude dobití baterií trvat a kolik se spálí paliva. Spotřeba při zatížení 75 % je nižší než 0,5 l/kWh. Zatížení pouze jedné fáze je tedy 33 %. Velikost spotřeby se uvažuje 0,4 l/kWh pro vytvoření rezervy. (15)

Heron – EGM 60 AVR-3	
Jmenovitý výkon (1 fáze) [W]	1900
Spotřeba při 75 % zatížení [l/kWh]	0,5
Spotřeba při 40 % zatížení [l/kWh]	0,4
Potřeba energie pro dobití 87 % baterií [kWh]	12000
Spotřeba paliva pro dobití 87 % baterií [l]	4,8
Cena za palivo cca (22.12.2018) [Kč]	31
Cena za dobití baterií [Kč]	148,8
Doba nabití baterií [hod]	6,3

Tabulka 11: Výpočet spotřeby paliva a doby nabíjení baterií. (autor)

4.4.2 Návrh sporáku na plyn nebo bioplyn

Protože příkon elektrického sporáku je vysoký, navrhuji použít kombinovaný sporák se dvěma plynovými a dvěma indukčními vařiči například od firmy Teka IG 620 2G. Indukční vařiče mají nižší příkon než obyčejné elektrické topné spirály a také větší účinnost, takže o to méně EE spotřebují. Je třeba mít ale speciální kuchyňské vybavení pro tyto vařiče. Tento sporák má dvě indukční varné zóny o celkovém příkonu 2700 W. (16)

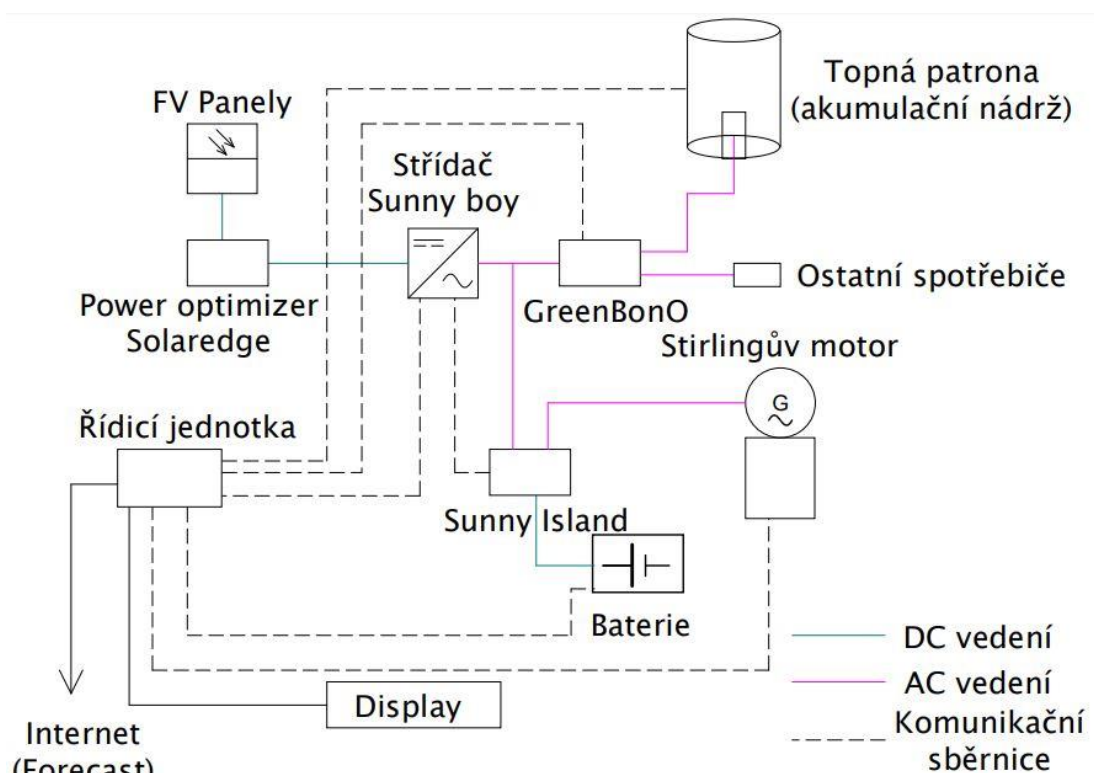
Je zcela na investrovi, kam umístit plynovou bombu, nicméně doporučuji připravit sporák a přívod plynu tak, aby se do budoucna mohla připojit domácí bioplynová stanice. Domácí bioplynová stanice HomeBiogas 2.0 stojí 650 USD, což je v přepočtu necelých 15 000 Kč. Z jednoho kilogramu potravního odpadu dokáže tato stanice vyprodukovat přibližně 200 litrů bioplynu, což je množství potřebné přibližně na jednu hodinu vaření. Stanice funguje nejlépe při více než 25 °C. Při teplotách nižších než 15 °C přestává bioplyn produkovat. Je třeba tedy umístit stanici do co nejteplejšího místa (například do skleníku). Stanice se může také zazimovat. Buď se může zcela demontovat a na jaře znovu složit nebo nechat v ní minimální množství roztoku, ve kterém se aktivní bakterie chladem uspí a při teplejším počasí zase probudí. Mimo bioplyn je vedlejším produktem

také roztok, který je ideální pro hnojení plodin, rostlin, stromů, trávníku atd.
(17)

4.5 Návrh řízení systému

V této kapitole popíší jednotlivá zařízení, která slouží pro správný chod systému. Jedná se o potřebu inteligentního řízení nabíjení baterií, přeměny stejnosměrného napětí FVE na střídavé, využití maximálního výkonu z FVE i při částečném zastínění, inteligentního rozvržení potřeby EE a inteligentního využití přebytků energie ze zdrojů, inteligentní spínání kotle a komunikace s uživatelem.

Pro převod napětí z DC na AC a inteligentní nabíjení baterií z více zdrojů EE navrhuji použít zařízení od firmy SMA. Zapojení těchto zařízení je znázorněno na Obrázku 9. Celý systém pracuje tedy na jedné fázi se střídavým napětím 230 V/50 Hz.



Obrázek 9: Zapojení el. části systému. (autor)

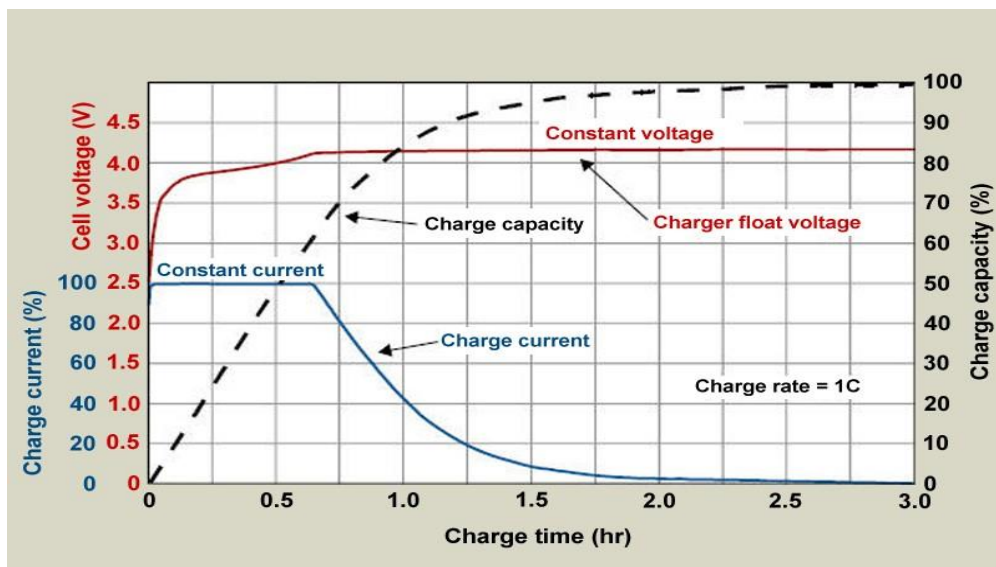
4.5.1 Střídač

Vlastnosti střídače pro autonomní off-grid systémy nemusí být tak přesné a nemusí umět spolupracovat s rozvodnou sítí (správné přifázování k síti, nutnost zkratové ochrany atd.). Také není takový důraz na bezpečnost zařízení. Zaleží zde ale na dalších parametrech. Je důležité, aby měl střídač vysokou účinnost (kolem 95 %), měl by být automatický, bezobslužný a kontrolovatelný, měl by být odolný a snést krátkodobé přetížení a výstupní napětí by mělo být co nejstabilnější. (18)

Pro tyto účely byl navržen střídač od firmy SMA Solar Technology AG – Sunny boy 3.0–5.0. Tento střídač je ideální pro malé soukromé FVE. Zařízení je možno ovládat a sledovat jeho stav přes smartphone odkudkoliv. Při chybě měniče se sama diagnostikuje chyba a pokud je třeba měnič vyměnit, firma SMA zařídí co nejrychlejší výměnu za nový. Spolu s ostatními zařízeními dokáže komunikovat po sběrnici RS 485. (19)

4.5.2 Inteligentní nabíjení baterií

Dlouhá životnost baterií závisí na řízeném nabíjení a vybíjení. Baterie má omezené množství cyklů, a tedy je důležité, aby po spotřebě určitého množství energie z baterií byla opět řádně dobita. Zařízení, které bude proces řídit, by mělo zvládnout proměnlivost nabíjecího proudu a včas detekovat maximálně nabitou baterie. Doba nabíjení baterií je závislá na nabíjecím proudu. Proud z FVE je velice proměnlivý (podle toho, s jakou intenzitou dopadají fotony na FVP), proto je třeba, aby zařízení se změnou nabíjecího proudu počítalo a dodalo baterii vždy odpovídající množství energie. Mělo by také sledovat, zda se články baterií nabíjí a vybíjí stejně. Mohlo by se totiž stát, že se jeden článek vybíjí na úkor ostatních rychleji. Proto by mělo zařízení umět tento deficit vybalancovat. Vybíjení baterií by nemělo být většími proudy, než povoluje výrobce. Je třeba říci, že čím menší zátěž (čím pomaleji) se bude baterie vybíjet i nabíjet, tím větší životnost, a dokonce i kapacitu, bude mít. Rychlost nabíjení se tolik ovlivnit nedá, zatímco chytré rozvržení spotřeby do celého dne zpomalí její vybíjení výrazně. Na další straně (viz Obrázek 10) je ideální průběh nabíjení lithiové baterie. K tomuto průběhu se bude zařízení ale sotva přibližovat. (13)



Obrázek 10: Ideální nabíjecí charakteristika lithiového článku. (29)

Zařízení, které je pro řízení vhodné, je například Sunny Island 4.4M / 6.0H / 8.0H. Toto zařízení dokáže baterie nabíjet stejnosměrným proudem o velikosti 90 A (maximálně 110 A) a jmenovitém DC napětí 48 V (maximálně 63 V), což se rovná jmenovitému výkonu 4,32 kW, přičemž maximální výkon FVE a Stirlingova motoru po započítání ztrát se rovná zhruba 4500 W. Při maximální intenzitě slunečního záření a maximálním výkonu Stirlingova motoru bude zařízení mírně přetíženo. Sunny Island 6.0H je vůči přetížení odolný (maximálně zvládne výkon o hodnotě 6930 W) a stav, kdy tato situace může nastat, je pouze za předpokladu naprosto jasného a velice chladného dne v březnu nebo říjnu. Na životnost zařízení to tedy vliv mít nebude. Zařízení má v sobě měnič napětí ze střídavého na stejnosměrné. Střídavé napětí je totiž přiváděno z měniče napětí z FVE a ze Stirlingova motoru. (20)

4.5.3 Řídicí jednotka

Pro chod celého objektu navrhuji zvolit řídicí jednotku, která dokáže ovládat a komunikovat s jednotlivými zařízeními. Zapojení celého systému je znázorněno viz obrázek 9. Funkce této jednotky by měla zahrnout jak ovládání systému, tak komunikaci s uživatelem. Měla by dokázat získat od uživatele data, jak dlouho a kolik osob se bude v objektu nacházet. Měla by také uživatele upozorňovat na riziko vybití baterií a signalizovat stav, kdy je třeba začít fungovat v tzv. krizové spotřebě. Tato spotřeba, se kterou budou uživatelé domu srozuměni, se vyznačuje tím, že v tento den se nesmí vařit na elektrickém sporáku, péct v troubě, nesmí se vysávat, žehlit a prát. Ostatní činnosti jako

TV, svícení a podobné spotřebiče s malým příkonem je možno užívat dál bez omezení.

Jednotka by měla umět využívat data z webového rozhraní PV Forecast. Toto rozhraní slouží k získání dat slunečního svitu a teplot na dalších 48 hodin. Předpokládané hodnoty se aktualizují dvakrát denně. Jednotka by si tedy měla umět z internetu tato data každý den obnovovat a na základě daných hodnot rozhodovat, zda bude potřeba provést patřičná opatření. (21)

Při nedostatku EE a při další její potřebě (uživatelé budou přítomni další den) a při nepříznivé předpovědi sluneční aktivity, by měl kotel dostat signál, že je třeba sepnout. Znamená to, že i když je v domě dostatek tepla, i tak začne nahřívat dům. Tepelná energie je totiž potřeba „umořit“. Nepomůže ani to, že by kotel přehřál akumulární nádrž. Akumulační nádrž je totiž důkladně zateplena a energii v sobě udrží. Jen by se oddálil problém o jeden den. Velikost akumulární nádrže by musela být několikrát větší, aby se pokrylo krizové období, které může trvat i týden. Může tedy nastat situace, že bude potřeba přehřát celý dům na 24 °C (vše záleží na spotřebě v tyto krizové dny), a tak musí být uživatelé informováni, že pokud bude v místnostech moc velké teplo, nemusí se bát otevřít okna.

Podobně bude muset umět jednotka řešit dny, kdy bude spotřeba EE minimální, avšak FVE i kogenerační jednotka budou produkovat EE. Bude muset umět řídit přebytky a inteligentně je využívat. Když bude potřeba, musí umět odpojit FVE. Musí také chytře spínat kotel a přebytky ze Stirlingova motoru a FVE ukládat do akumulární nádrže ve formě tepla přes topnou patronu. Tím FVE a Stirlingův motor zkrátí dobu běhu kotle a tím menší bude spotřeba pelet.

V příloze C je znázorněn principiální vývojový diagram, který znázorňuje algoritmus, jakým by měla jednotka vyhodnocovat jednotlivé situace. Řeší zvlášť fotovoltaickou elektrárnu, která automaticky dobíjí baterie, a pokud jsou baterie plné, zjistí, zda je plný zásobník kotle na pelety. Pokud ne, případně jej doplní. Pokud i zásobník je plný, začne nahřívat akumulární nádrž. Tu nahřívá, dokud teplota vody nepřesáhne 90 °C. Pokud ani tak nebudou přebytky z FVE „umořeny“, jednotka musí zařídit její odpojení. Algoritmus se dále rozděluje na tři části. Zda jsou uživatelé přítomni, zda nejsou uživatelé v objektu a zda budou přítomni další den.

1. Pokud nejsou přítomni, teplota v objektu se udržuje na hodnotě kolem 15 °C, protože objekt obsahuje výrazné akumulční prvky a nechat celý objekt vychladnout, by při nahřátí z minimální teploty bylo ekonomicky náročnější než celý objekt udržovat na určité teplotě. Starému objektu toto udržování teploty pomůže i z hlediska vlhkosti ve zdech. Vlhkost nebude nikde kondenzovat a zamezí se tak vzniku plísní.
2. Pokud uživatelé mají přijet další den. Kotel musí zajistit, aby byla teplota v místnostech dle návrhu. Musí být také nabité baterie, ale jelikož spotřeba objektu bude naprosto minimální, vytopení domu z 15 °C na 20 °C dodá tolik energie Stirlingovým motorem, že budou baterie plně připraveny.
3. Pokud budou přítomni, je třeba vědět, jak dlouho budou přítomni. Poté se jednotka rozhoduje na základě teploty vody v akumulční jednotce a stavu nabití baterií. Kotel začne nahřívát nádrž, pokud teplota klesne pod 30 °C. Pokud teplota neklesne pod 30 °C, tak jednotka zjistí, zda má být další den slunečno. Pokud má být slunečno, stačí, když kotel nahřeje nádrž na 50 °C. Pokud má být zataženo, nahřeje se nádrž na 60 °C, aby se mohla nahřát TUV. Vždy, když nahřívá kotel nádrž, musí řešit, zda jsou nabité baterie. Pokud ano, spotřebovává se energie ze Stirlingova motoru v topné patroně. Pokud se teplo z akumulční nádrže vybije, znamená to, že tepelná ztráta budovy je vyšší, tím pádem je třeba sepnout kotel ve špičkovém režimu a nahřívát nádrž maximálním výkonem kotle. Krizové situace musí umět jednotka řešit, jak je popsáno v kapitole 4.4.

5 Modelování chování budovy

5.1 Model spotřeby elektrické energie objektu

EE v rodinných objektech se dělí na uživatelskou a pomocnou. Uživatelská je ta, kterou spotřebovává přímo uživatel ať už provozem domácích elektrospotřebičů nebo umělým osvětlením. Pomocná EE zajišťuje provoz domovních technologií, mezi které patří například oběhová čerpadla, ventilátory, kompresory atd. K hodnotám těchto energií lze dojít dvěma způsoby. Prvním způsobem „shora“ se zjistí tyto hodnoty ze statistických zjišťování. Tento způsob se zaměřuje zejména na roční hodnoty spotřeby uživatelské EE (kWh/rok) a na vybavenosti domácností jednotlivými elektrickými spotřebiči. Druhým způsobem „zdola“ se vypočítá odhad spotřeby na základě vybavenosti domácími elektrospotřebiči a na jejich příkonu a doby provozu. (22)

V našem případě budeme uvažovat druhý způsob – tedy ten „zdola“. Díky tomuto způsobu se dostaneme k přesnějším výsledkům, protože jsme byli v kontaktu přímo s investory, kteří nemají speciální požadavky na množství spotřebičů a jsou obeznámeni s tím, že když nastane „krizový den“, nebudou moci například vařit na elektrickém vařiči.

V Tabulce 12 je znázorněna výbava spotřebiči, ale také domovní technologie potřebná k provozu budovy. Zároveň je z tabulky možné vyčíst dobu provozu jednotlivých zařízení a celkovou spotřebu EE pro daný den.

Jaro, podzim – špičkový provoz – den, kdy se uklízí a připravuje například oslava.			
Spotřebič	Příkon [kW]	Doba provozu za den [hod]	Spotřeba [kWh/den]
Vzduchotechnika	0,12	24	2,9
Lednice + mrazák A++	0,1	8	0,8
Sací turbína na peletky	2	0,25	0,5
ČOV	0,076	7	0,5
Čerpadlo na oběh vody	0,05	8	0,4
Pračka	0,4	3	1,2
Osvětlení	0,5	5	2,5
Vysavač	1	1	1
Příprava jídel	8	0,5	4
Notebook	0,06	8	0,5
Žehlička	1	1	1
TV	0,35	3	1,1
Celkový příkon	13,7	Celková spotřeba	16,3

Tabulka 12: Modelování spotřeby – Jaro/podzim, špičková spotřeba. (autor)

V tabulce se uvažuje den, ve kterém je spotřeba uživatelské EE vyšší než obvykle. V tento den běží vzduchotechnika na 70 % svého výkonu, oběhová čerpadla jsou v provozu po dobu běhu kotle a sací turbína na peletky v ten den doplní zásobník. Uživatelé domu perou, žehlí, vysávají a připravují větší hostinu. Na notebooku večer se pouští například hudba a svítí se celý večer.

Hodnota celkové špičkové spotřeby EE pro léto vychází 14,2 kWh/den. V létě totiž není třeba tolik svítit a topit, zatímco hodnota spotřeby EE v zimě vyšla na 19,1 kWh/den, protože je třeba topit téměř 24 hodin denně a je mnohem déle tma, takže se o to více svítí a také se více tráví čas u TV nebo notebooku.

Průměrné hodnoty spotřeby EE (viz Tabulka 13) jsou uvažovány takové, že se jednotlivé činnosti rozdělí do celého týdne. V ten den, kdy se pere, tak se i žehlí,

nicméně se nevysává prach. Vaří se jednou za dva dny, nepoužívají se všechny vařiče a ani trouba, protože se nevaří tak náročná jídla.

Jaro, podzim – denní provoz (2 obyv.) - chytré rozvrstvení činností do celého týdne			
Spotřebič	Výkon [kW]	Doba provozu za den [hod]	Spotřeba [kWh/den]
Vzduchotechnika	0,12	24	2,9
Lednice + mrazák A++	0,1	8	0,8
Sací turbína na peletky	2	0,25	0,5
ČOV	0,076	7	0,5
Čerpadlo na oběh vody	0,05	8	0,4
Pračka	0,4	3	1,2
Osvětlení	0,5	5	2,5
Vysavač	1	0	0
Příprava jídel	5	0,25	1,3
Notebook	0,06	2	0,1
Žehlička	1	1	1
TV	0,35	1	0,4
Celkový příkon	10,7		11,5

Tabulka 13: Modelování spotřeby – Jaro/podzim, průměrná spotřeba. (autor)

Hodnoty pro léto vychází 10,1 kWh/den a pro zimu 14,7 kWh/den.

Tabulka 14 ukazuje, jak by měla vypadat spotřeba EE v „krizový den“. Tento stav by měla vyhodnotit řídicí jednotka. Znamená to, že baterie klesla pod kritickou hodnotu, nebo že další den je předpověď sluneční aktivity nepříznivá. Proto se uživatel domu musí omezit a v tento den (případně v tyto dny, pokud jich bude více za sebou) by neměl vysávat prach, prát, žehlit a vařit na elektrických vařičích. Ideálně by také mohl ohřívat vodu na čaj na plynovém sporáku. Svítit by také měl pouze tam, kde je třeba. Obecně se dá říct, že čím méně spotřebuje v daný den EE, tím více ušetří na peletách, protože nebude muset kotel běžet zbytečně pouze kvůli produkci EE ze Stirlingova motoru.

Jaro, podzim – denní provoz (2 obyv.) - krizová spotřeba			
Spotřebič	Výkon [kW]	Doba provozu za den [hod]	Spotřeba [kWh/den]
Vzduchotechnika	0,12	24	2,9
Lednice + mrazák A++	0,1	8	0,8
Sací turbína na peletky	2	0,25	0,5
ČOV	0,076	7	0,5
Čerpadlo na oběh vody	0,05	8	0,4
Pračka	0,5	0	0
Osvětlení	0,5	5	2,5
Vysavač	1	0	0
Příprava jídel	5	0	0
Notebook	0,06	2	0,1
Žehlička	1	0	0
TV	0,35	2	0,7
Celkový příkon	10,8		8,4

Tabulka 14: Modelování spotřeby – Jaro/podzim, krizová spotřeba. (autor)

Hodnota krizové spotřeby EE pro léto vychází 7,5 kWh/den a pro zimu 11,2 kWh/den.

Hodnota výkonu na osvětlení je převzata z elektro projektu pro DSP. Pokud by se uvažovaly hodnoty pouze aktuálně používaných LED žárovek tam, kde se budou vyskytovat uživatelé domu, hodnoty spotřeby by se snížily. Ve špičkové spotřebě to bude odpovídat realitě, ale při přítomnosti pouze dvou uživatelů by se hodnota použitých světelných zdrojů mohla o dost snížit. Tento fakt poslouží jako rezerva ve výpočtech.

Hodnoty technologických zařízení jsou brány z technických listů některých konkrétních a některých náhodných zařízení. Jsou uvažovány kvalitnější spotřebiče, které mají oproti ostatním nižší příkon a nižší spotřebu EE.

S těmito modelovými hodnotami spotřeb v daném období bude dále počítáno.

Mezi největší každodenní spotřebiče EE patří vzduchotechnická jednotka. Pokud se investor rozhodne neinstalovat rekuperační jednotku, sice bude o něco větší spotřeba pelet, která už bude i tak dost vysoká, ale o to méně se ovlivní komfort v krizových dnech systému.

5.2 Výnosy elektrické energie z jednotlivých zdrojů

V této kapitole budou znázorněny výpočty průměrných výnosů v každém měsíci z FVE a z kogenerační jednotky. Také zde budou uvedeny hodnoty pro modelové dny, které byly vybrány z hlediska jejich výjimečnosti, ať už se jedná o teplý a zatažený nebo naopak extrémně chladný a jasný den.

Veškeré uváděné hodnoty teplot (ať už průměrných měsíčních nebo každodenních) a také hodnoty ozáření jsem použil z programu PVGIS, který je na webu volně přístupný. Hodnoty ozáření jsou díky naměřeným výsledkům z měření zastínění objektu velice přesné, protože jsou započítány i stíny stromů. Při výpočtech hodinových hodnot je uvažováno rozvrstvení spotřeby do jednotlivých hodin dle odhadu, který se snaží kopírovat potřeby objektu a jeho uživatelů.

čas [hod]	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00
rozložení spotřeby do jednotlivých hodin dne	1,11 %	1,11 %	1,11 %	1,11 %	2,99 %	7,20 %	7,20 %	2,21 %
	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
	1,11 %	1,11 %	1,11 %	1,11 %	1,11 %	1,11 %	2,55 %	7,20 %
	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
	5,09 %	16,38 %	10,52 %	9,19 %	6,64 %	9,52 %	1,11 %	1,11 %

Tabulka 15: Rozvržení spotřeby EE po hodinách v celém dni. (autor)

5.2.1 Výnos EE z FVE

Tento výnos je výstupem z programu PVGIS, ve kterém je dokonce znázorněno, kolik energie není bateriemi v letních měsících zachyceno při zadané průměrné spotřebě a při navržené kapacitě baterií. Tuto energii jsem započítal do ohřevu TUV, díky čemuž se v těchto měsících zkrátí doba běhu kotle a sníží se produkce Stirlingovým motorem. Detailní výstup z návrhového programu je uveden v příloze D.

Měsíc	Výnos EE z FVE [Wh/den]	EE z FVE nezachycena bateriemi [Wh/den]
leden	1629,1	0,0
únor	3794,0	0,0
březen	7022,9	0,0
duben	9560,7	2527,9
květen	10004,0	2608,3
červen	10256,7	2624,4
červenec	10900,3	3019,9
srpen	10336,8	2763,2
září	7939,9	133,4
říjen	5228,5	0,0
listopad	2575,7	0,0
prosinec	1155,1	0,0

Tabulka 16: Výnos EE z FVE a nezachycené přebytky EE bateriemi. (autor)

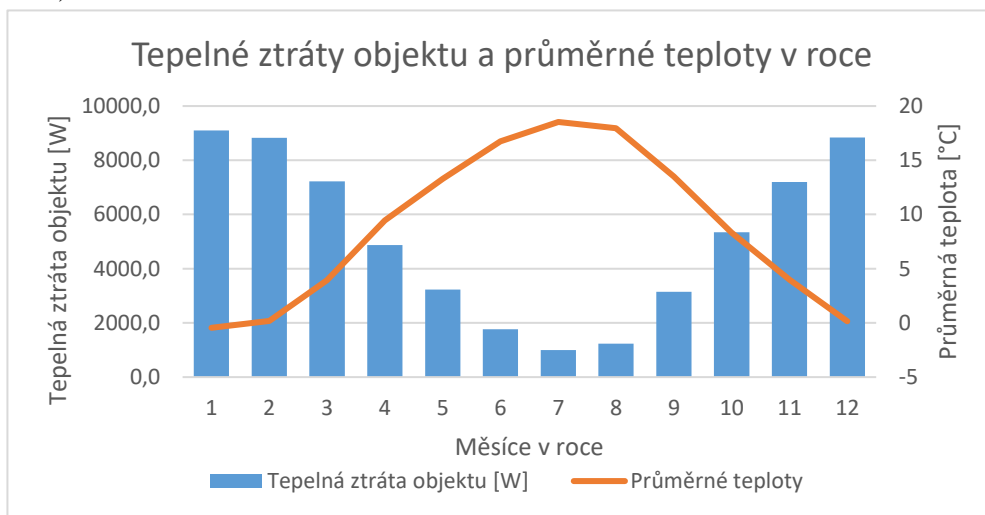
V další tabulce (viz Tabulka 17) jsou uvedeny hodnoty z tzv. „krizových dnů“. Jedná se o vybrané dny mezi roky 2007 a 2016, které byly pro tento systém nejkritičtější. Jedná se tedy o letní den (23.7.2015), ve kterém bylo zataženo a průměrná teplota se pohybovala kolem 20 °C. Další krizový den byl uvažován další letní den (16.7.2015). Tentokrát se jednalo o den zcela jasný a teplý. Dalším extrémním dnem byl den zimní (17.1.2007), ve kterém průměrná teplota byla téměř 9 °C a na FVE dopadalo pouze difúzní sluneční záření. Opačným extrémem byl další zimní den (10.2.2012), ve kterém byl mráz -14,5 °C a intenzita slunečního záření byla vysoká. Posledním kritickým dnem byl den z přechodného období. Jednalo se o říjnový den (20.10.2014), ve kterém byla průměrná teplota vzduchu za celý den 13,7 °C a na povrch FVE dopadalo pouze slabé difúzní záření.

Den	Výnos z FVE [Wh/den]
Léto (23.7.2015)	423,5
Léto (16.7.2015)	25617,5
Zima (17.1.2007)	239,8
Zima (10.2.2012)	10808,8
Podzim (20.10.2014)	407,9

Tabulka 17: Výnosy z FVE v „krizové dny“. (autor)

5.2.2 Výnos EE z kogenerační jednotky:

Hodnoty výnosů budou tedy vypočítány z hodnoty tepelné ztráty, která je vypočítána z průměrných teplot v daném měsíci. Tepelné ztráty objektu v závislosti na průměrných teplotách jsou znázorněny na grafu (viz Obrázek 11).



Obrázek 11: Tepelné ztráty objektu a průměrné teploty v roce. (autor)

Z velikosti tepelných ztrát byla vypočtena průměrná doba běhu kotle v každém dni. K této době běhu kotle bylo třeba připočítat čas, který kotel topil pro ohřev TUV. Nesmělo se opomenout, že FVE v létě vyprodukuje průměrně určitou hodnotu energie, kterou nelze zachytit bateriemi a která tedy byla dodána do akumulární nádrže ve formě tepla (s účinností 98 %). Počítalo se, že kotel běží přes teplé měsíce na jmenovitý výkon, ale od října do března nahříval kotel akumulární nádrž vždy špičkovým výkonem (16 kW). Z celkové doby běhu kotle byl vypočítán celkový výnos EE ze Stirlingova motoru. V potaz se také musel brát fakt, že Stirlingův motor se téměř hodinu rozbíhá, a tak se celkový výkon motoru během první hodiny bral jako poloviční.

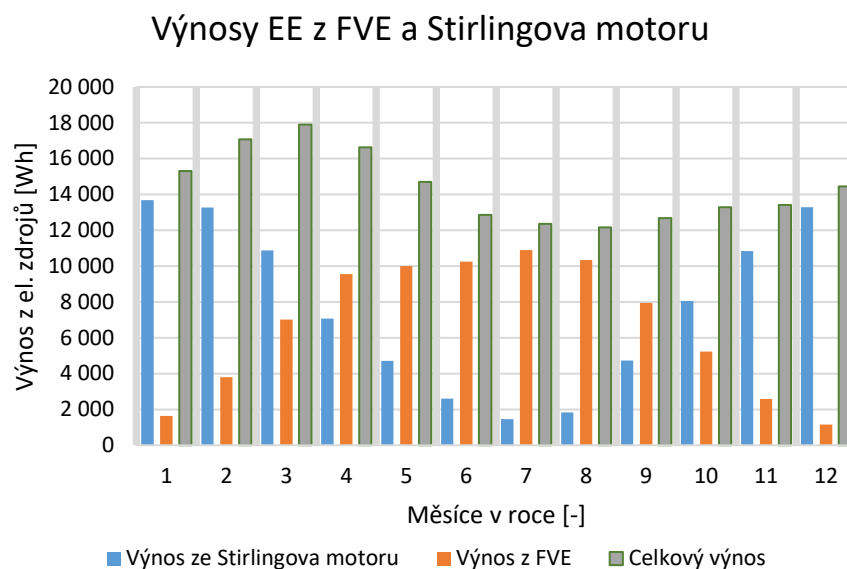
Celková doba běhu kotle [hod]	Výnos EE ze Stirlingova motoru [Wh/den]	Výnos EE z FVE [Wh/den]	Celkové průměrné denní výnosy EE [Wh/den]
14,18	13681,8	1629,1	15310,9
13,78	13278,3	3794,0	17072,3
11,37	10870,8	7022,9	17893,7
12,29	7075,9	9560,7	16636,6
8,34	4703,7	10004,0	14707,7
4,82	2594,6	10256,7	12851,3
2,94	1465,0	10900,3	12365,3
3,55	1830,3	10336,8	12167,1
8,40	4737,0	7939,9	12676,9
8,56	8059,8	5228,5	13288,3
11,34	10839,3	2575,7	13415,0
13,79	13291,8	1155,1	14446,9

*Tabulka 18: Výnos EE ze Stirlingova motoru a celkové průměrné denní výnosy EE.
(autor)*

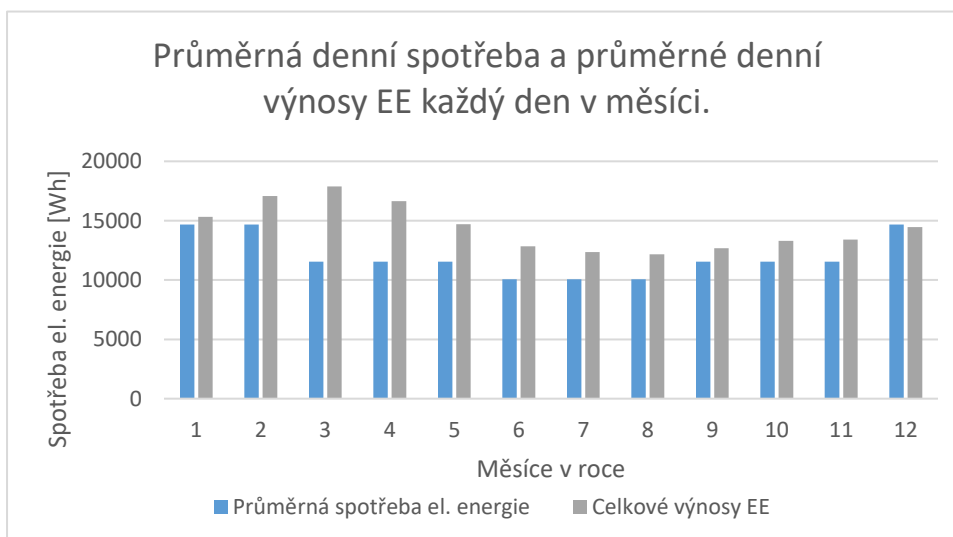
Doba ohřevu TUV kotlem na peletky je detailně vypočítána v příloze E. Jedná se o program v tabulkovém editoru Excel. Vstupními hodnotami je velikost akumulární nádrže, teplota vstupní a výstupní vody (požadovaná teplota) a spotřeba vody pro x osob (dle normy 40 l/den pro jednu osobu v rodinném domě). V programu je vypočítána tepelná ztráta válcové akumulární nádrže o velikosti 1000 litrů. Výsledkem výpočtu (po dosazení do rovnice $Q = mc\Delta T$) je hodnota potřebné energie pro ohřev TUV ke které stačí přičíst velikost ztrát akumulární jednotky násobenou časem (24 hodin). Poté stačí zadat jen velikost příkonu ohřevu a jeho účinnost a dostaneme i dobu ohřevu nádrže. I tento výpočet je již s rezervou. Hodnota tepelných ztrát je uvažována pro teplotu akumulární nádrže 60 °C, nicméně když není nahřívána, tak chladne a tepelné ztráty se snižují. Další rezerva je v normě samotné, kde se počítá se 40 litry na osobu a den, což je množství, které se vyplývá pouze zřídka.

5.2.3 Celkové výnosy EE – výstupy

Na grafu (viz Obrázek 13) jsou znázorněny průměrné denní výnosy EE produkované každý den v jednotlivých měsících z jednotlivých zdrojů a z obou zdrojů najednou.



Obrázek 13: Graf výnosů jednotlivých zdrojů. (autor)



Obrázek 12: Pokrytí spotřeby EE celkovými výnosy zdrojů EE. (autor)

Druhý graf (viz Obrázek 12) znázorňuje pokrytí průměrné denní spotřeby v každém dni jednotlivých měsíců celkovými průměrnými výnosy EE vyrobené každý den v jednotlivých měsících.

Navržený systém zvládá pokrýt denní spotřebu každý den v měsíci s rezervou kromě dní v prosinci a v lednu, kde jsou průměrné výnosy téměř stejné nebo dokonce nižší než spotřeba EE. Je tedy nutné očekávat, že systém v prosinci nebo v lednu bude častěji hlásit, že je třeba nastavit „krizovou spotřebu“. Nebo má uživatel druhou možnost, a to dobít baterie z dalšího zdroje (motorgenerátoru), a tím vyrovnat nedostatky výnosů EE.

Z těchto hodnot se dá vyčíst, že v průměru bude systém fungovat dobře. Co je ale třeba zmínit je fakt, že jsou to pouze průměrné hodnoty, tím chci naznačit, že jsou to hodnoty, které se skládají z dní, kdy je EE přebytek a systém běží naprosto spolehlivě, a ze dní, kdy je EE nedostatek a postupně se vybíjejí baterie. Tyto krizové situace, ať už kvůli přebytkům nebo kvůli nedostatkům EE, jsou detailněji popsány v dalších kapitolách.

5.3 Model chování objektu v krizových situacích

Krizové situace, které by mohli ovlivnit tento systém ať už z hlediska funkce, účinnosti nebo životnosti, nastávají u tohoto systému právě, když je nedostatek EE nebo její přebytek.

Při nedostatku, když navíc není potřeba do objektu dodávat kogenerační jednotkou teplo a podmínky počasí pro výrobu EE z FVE jsou velmi nepříznivé, nastává problém, kterému bude muset systém čelit, jinak uživatel přijde o dodávku EE. Nejen, že nebude moci užívat žádné elektrické zařízení, ale přestanou fungovat i technologické systémy objektu (například čerpadlo ze studny). Proto je důležité, aby objekt zcela v nejhorších podmínkách dokázal fungovat v nejnútější míře pro žití i bez připojení elektrické energie (například aby se dala voda ze studny čerpat i jinak atd.).

Pokud systém bude mít EE tolik, že nebude zvládat energii spotřebovávat, a dokonce už ani akumulovat, musí umět energii přestat produkovat. Ideální by bylo, kdyby systém uměl pracovat s přebytky EE tak, aby se ušetřilo co nejvíce paliva a účinnost zařízení byla co největší. Tím pádem by také byl provoz co nejlevnější. Konkrétní krizové situace budou řešeny v dalších kapitolách, které budou popisovat informace z reálných extrémních podmínek počasí v dané lokalitě od roku 2007 do roku 2016.

5.3.1 Letní den s nízkou sluneční aktivitou

Jedná se konkrétně o 23.7.2015. Jde o nejteplejší den a nejteplejší noc za období mezi roky 2007–2016. Výnos EE z FVE je uveden v kapitole 5.2.1. Průměrná denní i noční teplota neklesne pod 20 °C, takže tepelná ztráta budovy je v tento den nulová. Kotel tedy sepne pouze pro ohřátí TUV, což při spotřebě TUV dle normy vychází asi na dobu 0,9 hodiny při jmenovitém výkonu kotle. Výkon ze Stirlingova motoru je 600 W při jmenovitém výkonu kotle. Na tuto hodnotu se motor rozeběhá přibližně 36 minut. To odpovídá výnosu EE ze Stirlingova motoru při době běhu kotle pro ohřev TUV přibližně 0,5 kWh. Celkem tedy při průměrné spotřebě, která se rovná cca 10 kWh, se spotřebuje asi o 3 kWh více energie, než zdroje EE vyprodukují. Tuto energii musí pokrýt baterie. Proto je nasnadě, aby řídicí jednotka zjistila, zda tento potenciální problém bude další den přetrvávat (zda budou nepříznivé podmínky i v dalších dnech) a postupovala dle následujících kroků.

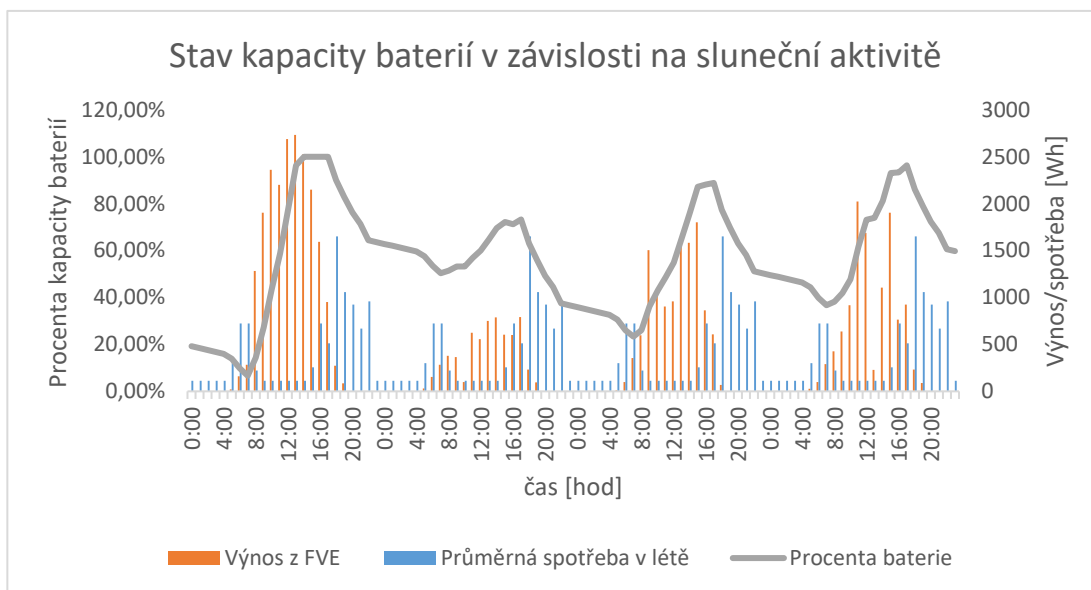
1. Pokud bude nepříznivá předpověď počasí na další dva dny, je třeba informovat uživatele, aby pracovali v režimu kritické spotřeby EE. Tento stav znamená, že je potřeba začít používat plynový sporák, a to i na ohřev vroucí vody. Je také dobré spotřebovat více TUV než obvykle, protože díky tomu poběží o to déle kogenerační jednotka a vyrobí ten den více EE.
2. Pokud se i se zavedením kritické hodnoty nepřekrývá nepříznivá předpověď počasí, je třeba při kritické hodnotě baterií spustit kotel a nadtopit objekt na více než 20 °C. Další možností je dobít baterie manuálně z motorgenerátoru.

V tabulce 19 jsou znázorněny výsledky výnosů a spotřeby EE a také na jak dlouho by měla baterie vydržet při kritické spotřebě baterií.

Veličina	Jednotky	Hodnoty
Letní spotřeba v krizové situaci	[kWh/den]	7,47
Výnos EE ze Stirlingova motoru při ohřevu TUV	[kWh]	0,47
Použitelný výnos z FVE	[kWh]	6,35
Celkové množství EE dodané systémem	[kWh]	6,82
Přebytky (+) /nedostatky (-) EE	[kWh]	-0,65
Kapacita baterií	[kWh]	13,80
Počet dní do nabití (+) / vybití (-) baterií	[počet dní]	-21

Tabulka 19: Letní zatažený den – výsledky. (autor)

Na Obrázku 14 je znázorněn průběh nabití baterií v tomto krizovém dni. Graf začíná slunečným dnem (22.7.2015), ve kterém se baterie spolehlivě nabijí na 100 % své kapacity. Další den je právě ten krizový, ve kterém je sluneční aktivita nejnižší. Kdyby se tento kritický den opakoval dvakrát za sebou, jednotka by měla vyhodnotit, že je třeba nastavit „krizovou spotřebu“. Ve dnech znázorněných na grafu k tomuto kroku nedojde, protože předpověď na další dny je příznivá.



Obrázek 14: Graf nabití baterií v letním nesečném dni. (autor)

5.3.2 Letní den s vysokou sluneční aktivitou

Jedná se o den, kdy je sluneční aktivita několik dní za sebou příznivá pro výrobu EE z FVE. Otázkou je, jak se systém v této situaci zachová, co se stane s přebytky energií a zda v těchto dnech bude muset spínat kotel pro přípravu TUV.

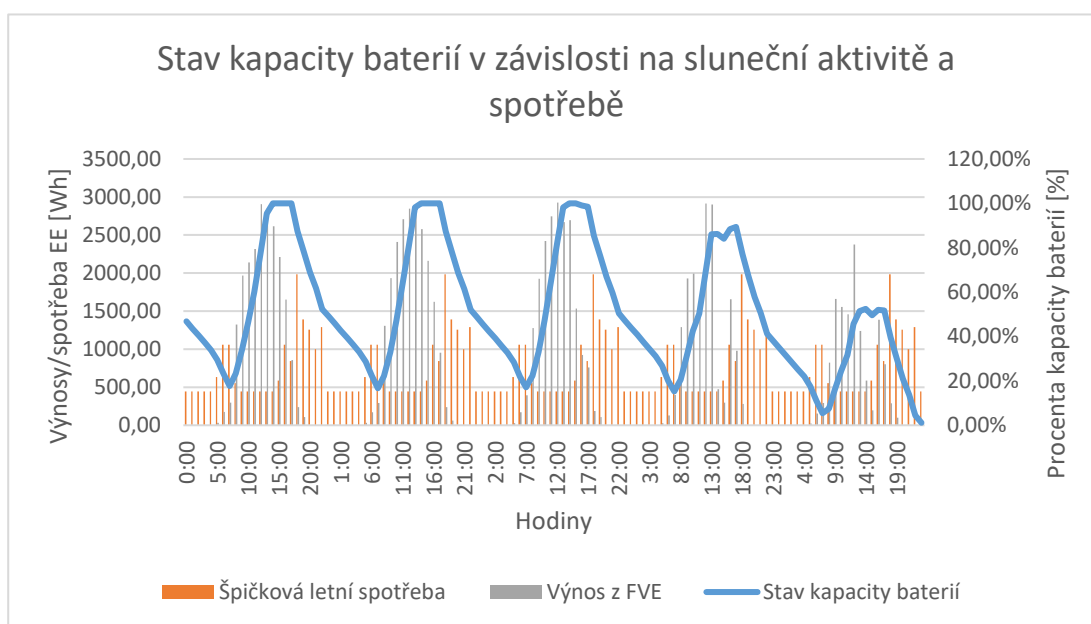
Teplota v tento den dlouhodobě neklesne pod 20 °C, takže kotel z těchto důvodů nemá smysl zapínat. Výnosy z FVE jsou ale vysoké, protože je celý den jasno. Nejvyšší hodnota intenzity slunečního ozáření byla 16.7.2015, kdy dokázala FVE vyprodukovat téměř 22 kWh. Tento výnos EE stačí hravě pokrýt i špičkovou letní spotřebu, a dokonce i většinu energie spotřebované pro ohřev TUV. Pokud by byl takový výnos každý den, mohli by uživatelé každý den prát, žehlit, vysávat, vařit na elektrickém sporáku atd.

a dokonce by se jim ohřála teplá užitková voda na sprchování, aniž by musel kotel spálit jedinou peletu, po dobu 23 dní. Každý den by totiž musela baterie dodat ze své kapacity cca 500 Wh. Je třeba zdůraznit, že tento předpoklad je pro opravdu jasné dny a špičkovou spotřebu. Hodnota vybití nebo nabití baterií je závislá právě na velikosti spotřeby a výnosů EE.

Níže je tabulka vypočítaných hodnot (viz Tabulka 20) a průběh stavu kapacity baterií několika jasných dní za sebou je znázorněn na obrázku (viz Obrázek 15). Energie potřebná na ohřev TUV je rozložena do každé hodiny dne v daném poměru.

Veličina	Jednotky	Hodnoty
Letní špičková spotřeba EE	[Wh/den]	14182,00
Použitelný výnos EE z FVE	[Wh]	21687,46
Spotřeba EE pro 2 osoby na den pro ohřev TUV	[Wh]	7975,85
Přebytky (+) /nedostatky (-) EE	[Wh]	-470,39
Kapacita baterie	[Wh]	13800
Počet dní pro nabití (+) /vybití (-) z (+) /na (-) 20 % kapacity baterií	[počet dní]	-23

Tabulka 20: Letní jasný den – výsledky. (autor)



Obrázek 15: Průběh stavu nabití baterií v jasném letním dni. (autor)

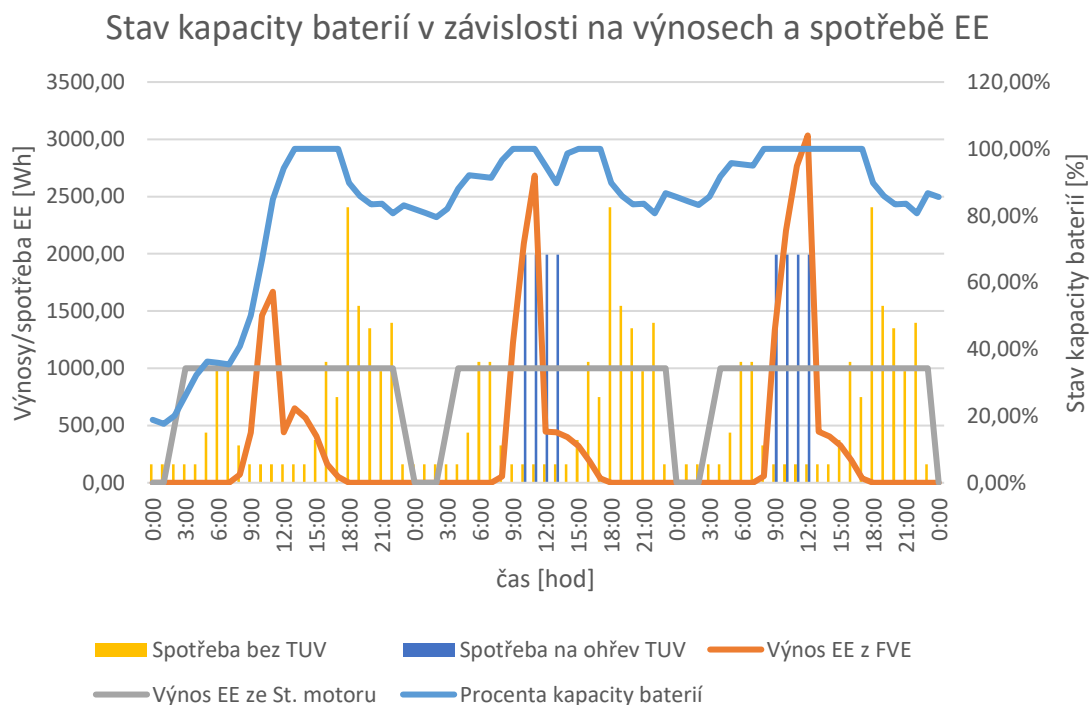
Z grafu lze vyčíst, že pátý den by FVE ohřev teplé vody nezvládla ohřát a při stále stejné spotřebě by se musel o ohřev TUV postarat kotel se Stirlingovým motorem. Plošky v prvních dvou maximech grafu znázorňují

maximální stav baterií. Právě v těchto chvílích systém bude přehřívat akumulaci nádrží a tím si uloží tuto energii pro den, kdy nebude tak vysoká hodnota intenzity slunečního záření.

5.3.3 Zimní mrazivý den s vysokou sluneční aktivitou

Přes to, že FVE produkuje zhruba polovinu EE vyrobené v létě, jsou v tento zimní den přebytky EE ze všech dní v roce nejvyšší, protože většinu EE v takových mrazech (konkrétně až $-14,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) vyrobí Stirlingův motor při běhu kotle. Kotel totiž v těchto mrazech musí běžet téměř 24 hodin denně, aby vytopil objekt s tak velkou tepelnou ztrátou. Je třeba ale zahrnout tepelné zisky okny. Podrobný výpočet tepelných zisků je uveden v kapitole 3.2. Uváděné tepelné ztráty v zimních měsících již počítají s tepelnými zisky okny.

V grafu (viz Obrázek 16) je popsána situace mezi 10. až 12. únorem 2012. Jsou to tedy velmi mrazivé a zároveň jasné dny. Teplota vzduchu se průměrně pohybuje kolem $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tepelnou ztrátu musí kotel pokrývat téměř 21 hodinami běhu. V prvním dni je na grafu znázorněno nabití baterií z 20 % na maximální kapacitu. Ohřev TUV zajišťuje stále kotel. Další dva dny je již



Obrázek 16: Průběh stavu nabití baterií v jasném zimním dni. (autor)

tolik přebytků, že o ohřev TUV se stará převážně FVE a také přebytky ze Stirlingova motoru. Lze si povšimnout drobných poklesů stavu baterií. Jedná se o pokles, kdy je uvažována vyšší spotřeba EE používáním více náročnějších spotřebičů během jedné hodiny. Některé poklesy v grafu jsou mírně zkreslené, protože například ohřev TUV z přebytků zajišťuje zařízení GreenBonO, které tyto přebytky dokáže inteligentně rozložit do delší časové linie s různou hodnotou výkonů EE jak z FVE, tak ze Stirlingova motoru. V grafu je spotřeba pro ohřev TUV rozpočítána tak, že je uvažován maximální výkon topné spirály (5 kW), která dodá do vody potřebné množství tepelné energie pro pokrytí ohřevu TUV. Pokles v grafu je tedy dán tím, že zbylý výkon do výkonu topné spirály musí dodat baterie.

Tento graf má pouze nastínit průběh stavu nabití baterií. Zaznamenává průměrnou spotřebu EE v zimních měsících s jednou výraznější odběrovou špičkou kolem 18. hodiny odpolední. O tom, jak hladký průběh stavu baterií bude, záleží pouze na šetrnosti užívání jednotlivých spotřebičů. Pokud uživatel dokáže rozložit co nejlépe svou spotřebu do celého dne, může baterii ušetřit několik „zbytečných“ cyklů a tím také prodloužit její životnost. Při nárazovém osídlení objektu se takové užívání nevyplatí, protože životnost baterií nedegraduje pouze počtem cyklů, ale také časem a dalšími faktory a tedy projít 6000 cyklů baterie se zřejmě po dobu její životnosti nepodaří.

V tabulce 21 jsou výsledky ze dne, kdy výnosy hravě pokryjí spotřebu EE a přebytky EE z FVE ohřívají TUV. Přesto jsou stále přebytky EE ze Stirlingova motoru, které řídicí jednotka použije primárně k dobití baterií a poté pro ohřev TUV, čímž ušetří dobu sepnutí kotle a tím i spotřebu pelet.

Veličina	Jednotky	Hodnoty
Průměrná zimní spotřeba EE na den	[Wh/den]	14682,00
Použitelný výnos z FVE	[Wh]	10808,76
Spotřeba EE pro 2 osoby na den pro ohřev TUV	[Wh]	7975,85
Tepelná ztráta budovy pro tento den	[W]	14095,35
Doba běhu kotle	[hod]	20,97
Odpovídající výnos EE ze Stirlingova motoru	[Wh]	20466,0
Přebytky (+) /nedostatky (-) EE	[Wh]	8616,9

Tabulka 21: Zimní jasný den – výsledky. (autor)

5.3.4 Zimní teplý den s nízkou sluneční aktivitou

Jedná se o den, kdy je průměrná teplota kolem 8,5 °C. V tento den tedy bude nenulový výnos ze Stirlingova motoru oproti zataženému letnímu dni, nicméně o to menší bude výnos EE z FVE, protože v zimě je intenzita difúzního světla mnohem nižší než v létě.

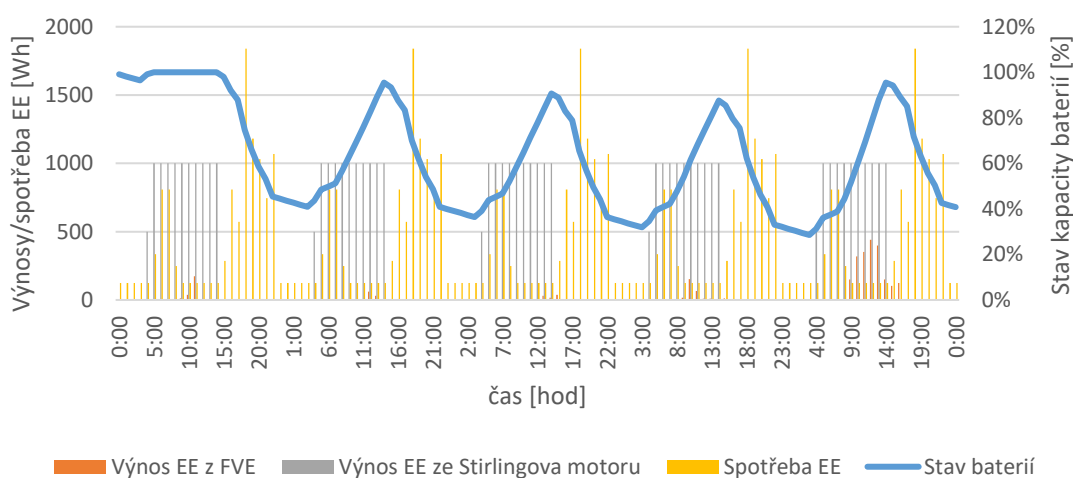
Konkrétně se jedná o 17. ledna 2007. Celkový výnos z FVE vychází v tento den kolem 240 Wh. Tepelná ztráta objektu se pohybuje kolem 5 kW i se započítanými tepelnými zisky okny v tento den (tepelné zisky všemi okny = 160 W), z čehož vychází výnos EE ze Stirlingova motoru kolem 7000 Wh.

Veličina	Jednotky	Hodnoty
Krizová zimní spotřeba EE	[Wh/den]	11232
Použitelný výnos z FVE	[Wh]	239,75
Tepelná ztráta budovy pro tento den	[W]	4991
Doba běhu kotle pro pokrytí TZ i ohřevu TUV	[hod]	7,99
Odpovídající výnos EE ze Stirlingova motoru	[Wh]	7485,1
Přebytky (+) /nedostatky (-) energie	[Wh]	-3507,1
kapacita baterie	[Wh]	13800
počet dní pro nabití (+) /vybití (-) baterií	[počet dní]	-4

Tabulka 22: Zimní teplý zatažený den – výsledky. (autor)

Tabulka 22 ukazuje, že se jedná o největší krizi. I přesto, že je nastavena krizová spotřeba EE, kterou uživatelé striktně dodržují, stačí nám kapacita baterií pouze na 4 dny spotřeby. Nastává tedy druhý krok, který vyhodnocuje (při nepříznivé předpovědi počasí) řídicí jednotka. Je třeba nadtopit celý dům na 24 °C. V grafu (viz Obrázek 17) je znázorněn výkon kotle pokrývající tepelnou ztrátu při nadtopení domu na 24 °C, spotřeba EE je nastavena krizová s odběrovými špičkami převážně v podvečerních hodinách a stav nabití baterií před touto krizí je 100 %.

Stav kapacity baterií v závislosti na výnosech a spotřebě EE



Obrázek 17: Průběh stavu nabití baterií v zataženém teplém dni v zimě. (autor)

Na grafu (Obrázek 17) je vidět, jak se při nadtopení celého domu a při zcela zatažené obloze každým dnem snižuje hodnota maxima nabití baterií. Při stejných venkovních teplotách a intenzitách slunečního světla a stejné spotřebě EE by systém zvládl dodávat EE dalších 10 dní, aniž by baterie klesly na nulovou kapacitu. Poslední maximum v grafu se již zvedá, protože difúzní záření bylo ten den o něco vyšší než v předchozích dnech. Také již klesla venkovní teplota a tepelná ztráta domu byla při normových vnitřních teplotách objektu stejná jako v předchozích dnech při výpočtu pro vnitřní teplotu objektu 24 °C.

5.3.5 Teplý zatažený den v přechodném období

Posledním případem, kdy hrozí kritický stav systému je den, když je teplo a zataženo v přechodném období. Jedná se o podobný postup stejně jako u letního a zimního zataženého dne. Konkrétně byl v přechodném období

nejkritičtější dvacátý říjnový den roku 2014. Teplota vzduchu se pohybovala kolem 14 °C a FVE vyprodukovala pouze cca 400 Wh EE.

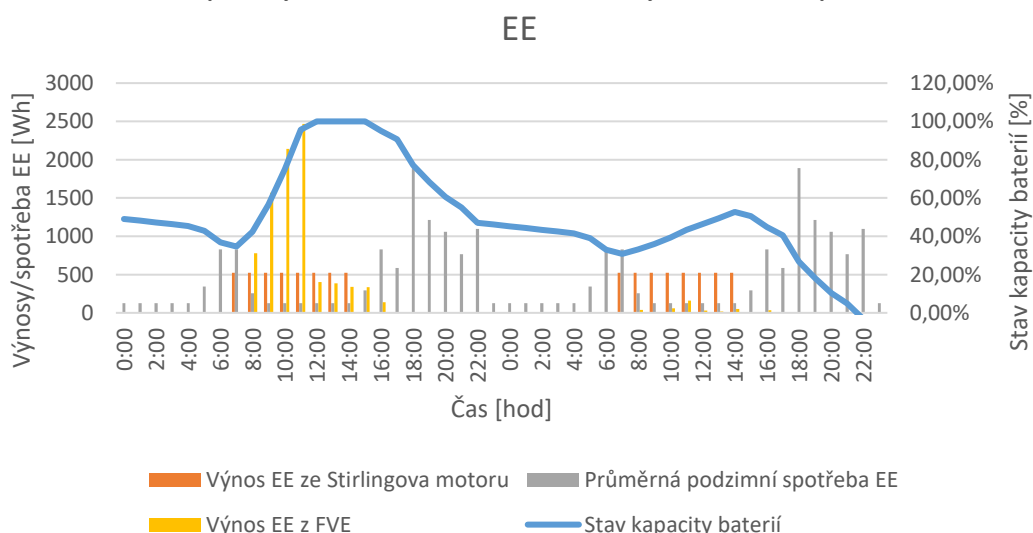
Veličina	Jednotky	Hodnoty
Krizová podzimní spotřeba EE	[Wh]	8432,0
Použitelný výnos EE z FVE	[Wh]	407,9
Tepelná ztráta při nadtopení objektu na 24 °C pro tento den	[W]	5063,7
Doba běhu kotle při jmenovitém výkonu pro pokrytí TZ i ohřevu TUV	[hod]	12,2
Celkový výnos EE ze Stirlingova motoru	[Wh]	7470,4
Přebytky (+) /nedostatky (-) EE	[Wh]	-553,8
Kapacita baterie	[Wh]	13800
Počet dní, kdy baterie neklesne na nula % své kapacity	[počet dní]	-10

Tabulka 23: Říjnový teplý zatažený den – výsledky. (autor)

Při nastavení krizové spotřeby a při přetopení objektu na 24 °C neklesne stav baterií na nula procent dalších deset dní (viz Tabulka 23)

Zatímco kdyby nebyla nastavena krizová spotřeba a celková spotřeba EE by byla dál stejná, během dvou dní by se baterie dostaly na nula procent své kapacity. Tento problém nastiňuje i poslední graf (viz Obrázek 18), ve kterém je zobrazeno, že je první den slunečno, takže se baterie nabije na 100 % a druhý den je sluneční aktivita naprosto minimální, takže při stejné spotřebě energie klesne k večeru stav baterie až na nulu. Tento graf slouží jako ukázka toho, že i když bude systém sebechytřejší, vždy hraje hlavní roli uživatel tohoto systému.

Stav kapacity baterií v závislosti na výnosech a spotřebě



Obrázek 18: Průběh stavu nabití baterií v zataženém říjnovém dni. (autor)

6 Závěr

Existují dva směry vnímání produkce a spotřeby EE – centrální výroba, akumulace a následná její distribuce a decentrální výroba, její akumulace a zároveň i její spotřeba. Druhá možnost se vyplatí pouze v místech, kde není možnost distribuovat EE z centrálních zdrojů. V těchto projektech je předem velmi pravděpodobné, že se (zatím) nedá mluvit o návratných investicích. Pořizovací cena technologií, které dokáží rodinným nebo rekreačním objektům zajistit trvalou dodávku elektrické energie nejsou úměrné k výši investic pro tyto objekty.

V tomto projektu se v návrhu tolik nezohledňovala cena a návratnost investice. Co se ale velmi precizně chtělo dodržet bylo, že většina EE, kterou systém vyprodukuje, bude využita, pokud v domě budou uživatelé přítomni.

Systém byl navržen tak, aby dokázal zásobovat objekt po celý rok tepelnou i elektrickou energií (spojení FVE s kogenerační jednotkou). Systém dokáže řídit toky energií a inteligentně je spotřebovávat nebo akumulovat dle potřeby uživatelů, dle předpovědi výnosů EE na další dva dny ze webového rozhraní PV Forecast, které dokáže předpovídat jak sluneční aktivitu pro FVP, tak teplotu ovzduší pro výrobu EE z kogenerační jednotky. K tomuto řízení toků pomohlo vymodelování jednotlivých situací, které jsou pro tento systém určitým způsobem extrémní. Jedná se o velmi slunečné a zároveň mrazivé dny (přebytky EE) nebo o zcela zatažené a v daném období poměrně teplé dny (nedostatky EE). S tímto modelováním extrémních situací úzce souvisí i modelování spotřeby (uživatelské i pomocné) EE objektu, což bylo posledním cílem této práce.

Všechny cíle práce byly splněny. Dokonce se podařilo získat hodinové hodnoty ozáření místa objektu i teploty od roku 2007 do roku 2016, ze kterých vzešly hodinové modely spotřeby EE. Výstupem těchto modelů jsou graficky znázorněné hodinové výnosy a spotřeby EE v krizových dnech systému.

Na závěr je nutné dodat, že hlavní roli sehrává uživatel objektu. I kdyby byl systém inteligentnější, správnou funkčnost systému bude mít v rukou uživatel. Proto je nutné, aby byl s funkcemi systému detailně obeznámen.

Návrh energetického řešení složitých objektů je velice zajímavé téma a rád bych se podobným projektům věnoval i v budoucnu.

7 Literatura

1. ČSN 730540-4. *Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
2. Ing. Petr Barták, Ph.D. *Úvod do přenosových jevů pro inteligentní budovy*. [Příručka] Praha : Evropský sociální fond, 2010.
3. ČSN EN 12831-1. *Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
4. Rubinová, Olga a Rubina, Aleš. *Klimatizace a větrání*. Brno : ERA, 2004. ISBN 8086517306.
5. ČSN 730548 . *Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1986.
6. SUNSTYLE SOLAR ROOF Technical data. *SUNSTYLE LTD*. [Online] 2017. [Citace: 23. prosinec 2018.] https://www.sunstyle.com/dateien/Data_Sheet_Solar_Roof_SUNSTYLE_E.pdf.
7. PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM. *European Commission*. [Online] Joint Research Centre Energy Efficiency and Renewables Unit, 2017. <http://re.jrc.ec.europa.eu>.
8. SolarEdge Technologies Inc. *Solaredge výkonový optimizér integrovaný OPJ300-LV*. [Online] duben 2018. [Citace: 18. prosinec 2018.] <https://www.solaredge.com/sites/default/files/se-pb-csi-datasheet-cz.pdf>.
9. PELLEMATIC CONDENS_E KOTEL NA PELETY S VÝROBOU ELEKTRINY PRO RODINNÝ DŮM. *ÖkoFEN*. [Online] ÖkoFEN Vertrieb Österreich GmbH. [Citace: 19. Prosinec 2018.] http://www.oekofen.cz/cz/Pellematic_Condens_e/.
10. ÖkoFEN Forschungs- und EntwicklungsgesmbH. *Technische Daten PELLEMATIC Condens 10 - 18 kW*. [Online] 2014. [Citace: 19. prosinec 2018.] http://www.oekofen.cz/cz/pellematic_condens/#tab3.

11. REGULUS spol. s.r.o. Moderní akumulční nádrže a inteligentní řízení zdrojů. *tzb-info*. [Online] 19. srpen 2013. [Citace: 20. 12 2018.] <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/10242-moderni-akumulacni-nadrze-a-inteligentni-řízení-zdroju>.

12. Trochta, Ing. Richard. GreenBonO. *Yorix*. [Online] Yorix s.r.o., 19. listopad 2010. [Citace: 20. prosinec 2018.] <http://www.yorix.cz/cz/greenbono/greenbono.htm>.

13. Cetl, Tomáš. *Aplikace elektrochemických zdrojů*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-02859-3.

14. BYD COMPANY LIMITED. *BYD B-Box BATTERY STORAGE*. [Online] 2017. [Citace: 21. Prosinec 2018.] <http://solarni-panely.cz/katalog-produktu/byd-baterie/byd-baterie-b-box-13-8>.

15. EGM 60 AVR-3 Generátor elektrického proudu . *HERON EGM 60 AVR-3*. [Online] 2006. [Citace: 26. prosinec 218.] https://www.ancer.cz/_obchody/ancer.obchodak.net/prilohy/2/egm-60-avr-3-elektrocentrala-benzinova-trifazova-h-498b04.pdf.

16. Teka IG 620 2G. *Tekaindustrial*. [Online] Teka Industrial, S.A., 2018. [Citace: 26. Prosinec 2018.] http://www.tekaindustrial.com/cz/products/view/30931-varne_panely-ig_620_2g.

17. HomeBiogas 2.0. *HomeBiogas*. [Online] HomeBiogas Inc, 2017. [Citace: 26. prosinec 2018.] <https://homebiogas.com/shop/buy-the-homebiogas-system/>.

18. Bařinka, Radim, Bártek, Jiří a Řehák, Jaromír. Fotovoltaika a fotovoltaické systémy v podmínkách ČR a jejich navrhování. *Informační portál ministerstva průmyslu a obchodu*. [Online] Česká energetická agentura Vinohradská 8,120 00 Praha 2, 1998. [Citace: 16. 12 2018.] https://www.mpo-efekt.cz/dokument/98_8050.pdf.

19. SUNNY BOY 3.0 / 3.6 / 4.0 / 5.0 More than an inverter. *SMA*. [Online] SMA Solar Technology AG. [Citace: 23. prosinec 2018.] <https://www.sma.de/en/products/solarinverters/sunny-boy-30-36-40-50.html>.

20. SMA Solar Technology AG. *SUNNY ISLAND 4.4M / 6.0H / 8.0H For On-Grid and Off-Grid Applications*. [Online] 2011. [Citace: 23. prosinec 2018.] http://files.sma.de/dl/30486/SI44M_60H_80H-DEN1730-V12web.pdf.
21. Maška, Ing. Marek. PV Forecast WEB API v2.0. *PV Forecast*. [Online] [Citace: 26. prosinec 2018.] http://www.pvforecast.cz/download/PV_Forecast_WEB_API_2.0.pdf.
22. Staněk, Kamil. *Fotovoltaika pro budovy*. Praha : Grada Publishing, a.s. pro Katedru konstrukcí pozemních staveb Fakulty stavební Českého vysokého učení technického v Praze, 2012. ISBN 978-80-247-4278-6.
23. Hudec, Mojmir. *Pasivní rodinný dům: proč a jak stavět*. Praha : Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2555-0.
24. Luque, Antonio a Hegedus, Steven . *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. Hoboken NJ : Wiley, 2003. ISBN 0-471-49196-9.
25. Prof. Ing. Vítězslav BENDA, CSc. *Fotovoltaické systémy pro výrobu elektrické energie*. [Přednáška]. Praha : Katedra elektrotechnologie, 2017.
26. Ing. Pavel Hrzina, Ph.D. *Návrh FV systémů*. [Přednáška]. Praha : Laboratoř diagnostiky fotovoltaických systémů, 2012.
27. prof. Ing. Vítězslav Benda, CSc. *Fotovoltaika - jaká je nejlepší dostupná technologie?* *tzb-info*. [Online] 2010. [Citace: 17. 12 2018.] <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/6327-fotovoltaika-jaka-je-nejlepsi-dostupna-technologie>.
28. Kosmák, Ing. Jakub. *Optimalizace Off-Grid systému z hlediska kvality*. Ostava : Disertační práce. VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA., 2018.
29. Buchmann, Isidor. *Charging Lithium-ion. Batteryuniversity*. [Online] Cadex Electronics Inc., 24. duben 2018. [Citace: 05. leden 2019.] https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries.

Seznam Obrázků

Obrázek 1: Situace objektu. (Manumade – P. Marek)	11
Obrázek 2: Původní stavba – jihovýchodní pohled. (autor – Petr Marek)	12
Obrázek 3: Jihovýchodní pohled – rekonstrukce. (Manumade – P. Marek)	13
Obrázek 4: Teplotní pole při stacionárním prostupu tepla rovinou stěnou. (2)	17
Obrázek 5: Rozložení FV článků ve čtvercových panelech. (6)	23
Obrázek 6: Zastínění FVE dle azimutu a výšky slunce. (7)	24
Obrázek 7: Stirlingův motor – popis. (9)	25
Obrázek 8: Zapojení kotle – přívod pelet a oběh vody. (autor)	27
Obrázek 9: Zapojení el. části systému. (autor)	32
Obrázek 10: Ideální nabíjecí charakteristika lithiového článku. (29)	34
Obrázek 11: Tepelní ztráty objektu a průměrné teploty v roce. (autor)	42
Obrázek 12: Pokrytí spotřeby EE celkovými výnosy zdrojů EE. (autor)	44
Obrázek 13: Graf výnosů jednotlivých zdrojů. (autor)	44
Obrázek 14: Graf nabití baterií v letním neslunečném dni. (autor)	47
Obrázek 15: Průběh stavu nabití baterií v jasném letním dni. (autor)	48
Obrázek 16: Průběh stavu nabití baterií v jasném zimním dni. (autor)	49
Obrázek 17: Průběh stavu nabití baterií v zataženém teplém dni v zimě. (autor)	52
Obrázek 18: Průběh stavu nabití baterií v zataženém říjnovém dni. (autor)	53

Seznam Tabulek

Tabulka 1: Klimatické údaje. (autor)	11
Tabulka 2: Přirážka součinitele prostupu tepla na tepelné mosty. (1)	16
Tabulka 3: Požadované teploty jednotlivých místností. (autor)	16
Tabulka 4: Součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí. (autor)	17
Tabulka 5: Výpočty tepelných ztrát prostupem pro ložnici. (autor)	18
Tabulka 6: Vypočítané teploty přiváděného a odváděného vzduchu. (autor)	19
Tabulka 7: Tabulka výpočtu tepelné ztráty větráním pro ložnici. (autor)	19
Tabulka 8: Celkové tepelné ztráty objektu. (autor)	20
Tabulka 9: Hodnoty tepelných zisků okny pro nezastíněná okna. (autor)	21
Tabulka 10: Hodnoty tepelných zisků okny pro zastíněná okna. (autor)	21
Tabulka 11: Výpočet spotřeby paliva a doby nabíjení baterií. (autor)	31
Tabulka 12: Modelování spotřeby – Jaro/podzim, špičková spotřeba. (autor)	37
Tabulka 13: Modelování spotřeby – Jaro/podzim, průměrná spotřeba. (autor)	38
Tabulka 14: Modelování spotřeby – Jaro/podzim, krizová spotřeba. (autor)	39
Tabulka 15: Rozvržení spotřeby EE po hodinách v celém dni. (autor)	40
Tabulka 16: Výnos EE z FVE a nezachycené přebytky EE bateriemi. (autor)	41
Tabulka 17: Výnosy z FVE v „krizové dny“. (autor)	41
Tabulka 18: Výnos EE ze Stirlingova motoru a celkové průměrné denní výnosy EE. (autor)	43
Tabulka 19: Letní zatažený den – výsledky. (autor)	46
Tabulka 20: Letní jasný den – výsledky. (autor)	48

Tabulka 21: Zimní jasný den – výsledky. (autor)	50
Tabulka 22: Zimní teplý zatažený den – výsledky. (autor)	51
Tabulka 23: Říjnový teplý zatažený den – výsledky. (autor)	53

Seznam příloh

Příloha	Soubor	Popis
Příloha A	Výpočet tepelných ztrát.xlsx	Celkové výsledky výpočtu tepelných ztrát
Příloha B	Výpočet tepelných zisků okny.xlsx	Celkové výpočty tepelných zisků solární radiací okny
Příloha C	Vývojový diagram.pdf	Diagram popisující, jak by měla fungovat řídicí jednotka
Příloha D	Výstup z PVGis.pdf	Výstupní hodnoty z návrhového programu PVGis
Příloha E	Výpočet doby nahřátí akumulční nádrže.xlsx	Výpočtový program doby akumulční nádrže 1000 litrové akumulční nádrže