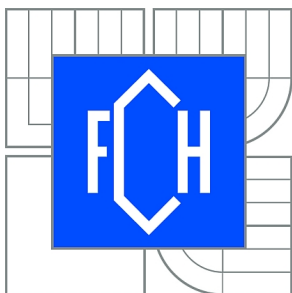




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ

ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY
ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

FACULTY OF CHEMISTRY

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF
ENVIRONMENTAL PROTECTION

ZPRACOVÁNÍ PROJEKTU KOMBINOVANÉHO SOLÁRNÍHO SYSTÉMU

PROCESSING OF THE PROJECT COMBINED SOLAR SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

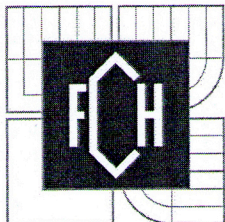
Bc. TEREZA SUČKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JOSEF KOTLÍK, CSc.

BRNO 2013



Vysoké učení technické v Brně
Fakulta chemická
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

Zadání diplomové práce

Číslo diplomové práce: **FCH-DIP0699/2012** Akademický rok: **2012/13**
Ústav: Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí
Student(ka): **Bc. Tereza Sučková**
Studijní program: Chemie a technologie ochrany životního prostředí (N2805)
Studijní obor: Chemie a technologie ochrany životního prostředí (2805T002)
Vedoucí práce: **Ing. Josef Kotlík, CSc.**
Konzultanti:

Název diplomové práce:

Zpracování projektu kombinovaného solárního systému

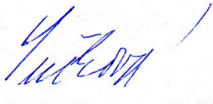
Zadání diplomové práce:

Zpracování projektu termického solárního systému s využitím integrované řídicí jednotky.

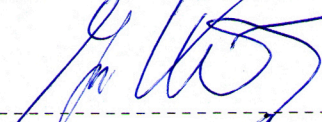
1. Navrhnout optimalizované vícezdrojové zásobování reálného objektu tepelnou energií ostrovního typu.
2. Navrhnout konkrétní technické řešení.
3. Zpracovat výkresovou dokumentaci.
4. Provést výpočet předpokládaných ekonomických přínosů.

Termín odevzdání diplomové práce: 3.5.2013

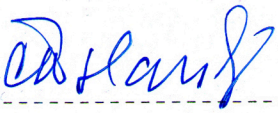
Diplomová práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu diplomové práce. Toto zadání je přílohou diplomové práce.



Bc. Tereza Sučková
Student(ka)



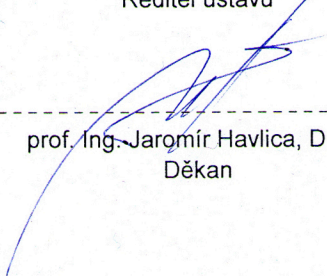
Ing. Josef Kotlík, CSc.
Vedoucí práce



doc. Ing. Josef Čáslavský, CSc.
Ředitel ústavu

V Brně, dne 31.1.2013

Vytiskl(a): Bc. Yveta Volánková
15.01.2013 14:36



prof. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.
Děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá zpracováním projektu optimalizace solárního systému pro celoroční provoz. Cílem práce je provést dimenzování, návrh jednotlivých komponent a zjistit ekonomickou a ekologickou bilanci.

ABSTRACT

The diploma thesis studies the elaboration of project about optimization of solar system for all- season service. The aim of the work was to make a proportioning, choosing the right parts and finding the economic and ecologic balance.

KLÍČOVÁ SLOVA

Solární systém, fotovoltaický systém, solární kolektory, energie, dimenzování, optimalizace

KEYWORDS

Solar system, photovoltaic system, solar collectors, energy, proportioning, balance, optimization

CITACE

SUČKOVÁ, T. *Zpracování projektu tepelného solárního systému*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2013. 55 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Josef Kotlík, CSc..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FCH VUT.

.....
podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu práce panu Ing. Josefu Kotlíkovi, CSc. za cenné rady, připomínky a metodické vedení práce.

OBSAH

1. Úvod	7
2. Sluneční záření v ČR	8
3. Tepelné solární systémy	9
3.1. <i>Typy tepelných solárních soustav</i>	9
3.1.1. Pasivní solární architektura	9
3.1.2. Solární systémy pro ohřev bazénové vody	10
3.1.3. Maloplošné solární systémy pro přípravu teplé vody	10
3.1.4. Kombinované solární systémy pro vytápění a přípravu teplé vody	11
3.1.5. Velkoplošné solární soustavy	11
3.1.6. Vzduchové solární soustavy	11
3.2. <i>Prvky tepelné solární soustavy</i>	12
3.2.1. Solární kolektory	12
3.2.1.1. Ploché atmosférické kolektory	13
3.2.1.2. Vakuované kolektory	13
3.2.1.3. Zásobníkové kolektory	13
3.2.2. Teplonosná kapalina	14
3.2.3. Potrubí	14
3.2.4. Tepelný zásobník	14
3.2.5. Dodatečný zdroj tepla	15
3.2.6. Tepelné výměníky	15
3.2.7. Čerpadlo	15
3.2.8. Armatury	16
3.2.9. Pojistný ventil	16
3.2.10. Expanzní nádoba	16
3.2.11. Odplyňovač	16
3.2.12. Regulační zařízení	17
4. Fotovoltaické systémy	18
4.1. <i>Historie fotovoltaiky</i>	18
4.2. <i>Nové trendy fotovoltaiky</i>	18
4.3. <i>Princip fungování jednoduchého fotovoltaického článku</i>	19
4.4. <i>Komponenty fotovoltaického systému</i>	20
4.4.1. Fotovoltaické panely	20
4.4.1.1. Panely z křemíkového monokrystalu	20
4.4.1.2. Polykrystalické články	20
4.4.1.1. Tenkovrstvé články	20
4.4.2. Akumulátory	21
4.4.3. Solární regulátory	21
4.4.4. Střídače	21
4.5. <i>Typy fotovoltaických soustav</i>	22
4.5.1. Malé ostrovní systémy	22
4.5.2. Síťové systémy	22
4.5.3. Hybridní ostrovní systémy	22
4.5.4. Hybridní síťové systémy	22
4.6. <i>Volba umístění a sklonu fotovoltaického generátoru</i>	23
4.7. <i>Výkon a účinnost solárního systému</i>	24

4.8.	<i>Státní podpora fotovoltaiky</i>	24
5.	Kombinované fotovoltaické/tepelné solární systémy	26
5.1.	<i>Kombinované fotovoltaické/tepelné solární systémy</i>	26
5.2.	<i>Hybridní fotovoltaické/tepelné solární systémy</i>	26
6.	Praktická část – Projekt tepelného solárního systému	28
6.1.	<i>Zadání – cíl projektu</i>	28
6.2.	<i>Reálný tepelný solární systém</i>	28
6.2.1.	Solární kolektory	30
6.2.2.	Solární bojler a akumulční nádrž	30
6.2.3.	Řízení soustavy	30
6.2.4.	Oběhový systém	30
6.2.5.	Ostatní prvky soustavy	30
6.3.	<i>Fotovoltaika jako možné řešení problému energetické spotřeby tepelného systému</i>	31
6.3.1.	Rešerše aplikovaných řešení	31
6.3.2.	Environmentální stránka řešeného projektu	32
6.4.	<i>Dimenzování</i>	33
6.5.	<i>Volba fotovoltaického generátoru</i>	34
6.6.	<i>Typ soustavy, návrh komponent a zapojení</i>	36
6.6.1.	I. Hybridní síťový systém	37
6.6.2.	II. Hybridní ostrovní systém	39
6.6.3.	III. Systém s využitím mikrostrídačů	41
6.6.4.	IV. Systém s využitím mikrostrídačů bez baterií	43
6.7.	<i>Ekonomické zhodnocení jednotlivých variant</i>	44
6.7.1.	Krok 1. Výpočet množství energie dodané systémem	44
6.7.2.	Krok 2. Výpočet ročního finančního zisku, úspory a návratnosti	45
7.	Navržené řešení a jeho diskuse	48
8.	Závěr	50

1. ÚVOD

Většina využitelné energie na Zemi pochází z jaderných přeměn ve Slunci, ať se jedná přímo o energii slunečního záření, nebo o energii uchovanou ve fosilních palivech, biomase, koloběhu vody. Tuto energii využíváme odjakživa, nejdříve energii v potravě jako pohon vlastního metabolismu, s vynálezem ohně se lidé naučili využívat energii ukrytou v dřevě, později i v uhlí. V období průmyslové revoluce se pak s objevem parního stroje několikanásobně zvýšila potřeba energie a tím vzrostl i tlak na fosilní paliva, do té doby jediné možnosti jak přeměnit energii pocházející ze Slunce na práci. Během posledních 40 let globální spotřeba energie strmě rostla, v roce 2008 dosáhla 474×10^{18} J, z toho 80-90% bylo čerpáno ze spalování fosilních paliv [1]. Těžba a spalování fosilních paliv s sebou však nese řadu ekologických, politických i ekonomických problémů. S jadernou energetikou jsou spojeny otázky likvidace jaderného odpadu a těžby uranu, která je ekologickou zátěží.

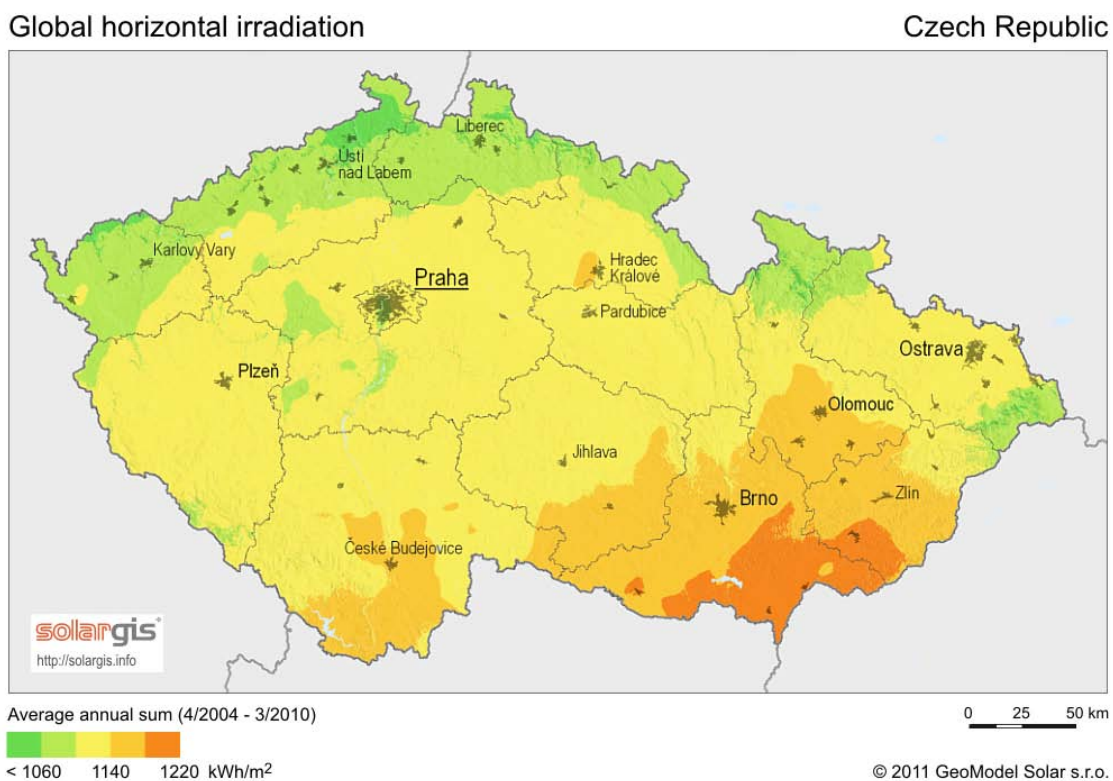
V současné době tak nabývají na významu obnovitelné zdroje energie. Jednou z možností je přímé využívání slunečního záření dopadajícího na povrch naší planety. Na povrch Země na území ČR dopadá asi 1100 kWh/m^2 energie ve formě slunečního záření [2]. Tuto energii je možné využívat různými způsoby; uzpůsobením stavby k lepšímu zachycování sluneční energie počínaje, a různě složitými tepelnými a fotovoltaickými systémy konče. Solární systémy získávají energii bez emisí škodlivých látek a skleníkových plynů, nevytvářejí během provozu odpady, mají nízké provozní náklady a poskytují majiteli nezávislost na světovém trhu s energiemi.

Tato práce si klade za cíl zpracovat řešení, které podstatně přispěje k pokrytí spotřeby energie již existujícího solárního tepelného systému a sníží závislost jejího majitele na dodávkách energie z vnějších zdrojů.

2. SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ V ČR

Slunce, jako naše nejbližší hvězda, je dlouhodobým zdrojem energie pro naši planetu. Energie slunečního záření pochází z termionukleárních reakcí, které se uskutečňují v centrální oblasti slunce. Celkový tok sluneční energie je $3,85 \times 10^{26}$ W. Hustota zářivého toku na povrchu slunce je 6×10^7 W/m². Na Zemi z toho dopadají jen asi dvě miliardy, tzn. asi $7,7 \times 10^{17}$ kW. Střední intenzita záření dopadajícího na jednotku plochy Země G_{SC} činí 1367 W/m². Tato hodnota se nazývá solární konstanta, její hodnota byla naposledy přijata Světovou meteorologickou organizací v roce 1981. Hustota toku slunečního záření G_{ON} se během roku mění asi o 3%. Spektrum slunečního záření se pohybuje ve vlnových délkách mezi 0,2 - 3 μm [1,2,3,4].

V ČR za rok dopadne na optimálně orientované plochy mezi 1000 až 1200 kWh/(m².rok), doba slunečního svitu je mezi 1400 a 1800 h/rok. Maximální dávka ozáření v létě je kolem 8 kWh/m².den v zimě je to pak 3 kWh/m².den a v jarních a podzimních měsících je to 5 kWh/m².den[3]. Skutečný energetický zisk je pak závislý na účinnosti solárního systému, meteorologických podmínkách, úrovni znečištění ovzduší, zeměpisné poloze a orientaci solárního generátoru.



Obrázek 1- Roční průměry příkonu záření na plochu [2]

3. TEPELNÉ SOLÁRNÍ SYSTÉMY

Tepelné soustavy využívají tepla vznikajícího dopadem slunečního záření na povrch. Toto teplo je pak odváděno pasivně nebo aktivně pomocí teplotnosného média. V následujících kapitolách jsou popsány způsoby využití slunečního záření pro vytápění budov a typické komponenty aktivních solárních systémů.

3.1. Typy tepelných solárních soustav

3.1.1. Pasivní solární architektura

Pasivní solární architekturou rozumíme projektování staveb tak, aby svou konstrukcí zachytily co nejvíce solární energie. Efekt prvků pasivní solární architektury tkví v selektivní propustnosti tepelného záření průhlednými materiály, v rozdílné pohltivosti krátkovlnného záření a v omezení vyzařování dlouhovlnného záření stavebními povrchy. Je vhodné podpořit akumulaci tepla účinnou tepelnou izolací akumulčního jádra budovy od vnějšího prostředí.

Solární architektura se řídí několika hlavními zásadami. Okna a prvky solární architektury se umísťují na jižní stranu budovy, severní strana zůstává pokud možno bez oken. Budova by měla být kompaktní, minimálně členěná. Dodržují se zásady tepelného zónování v půdoryse a vytváří se akumulční jádra budov.

Mezi prvky pasivní solární architektury patří akumulční solární stěny, nezasklené solární vzduchové kolektory, energetické fasády, dvojitě transparentní fasády, energetická střecha, transparentní izolace a další. [5]

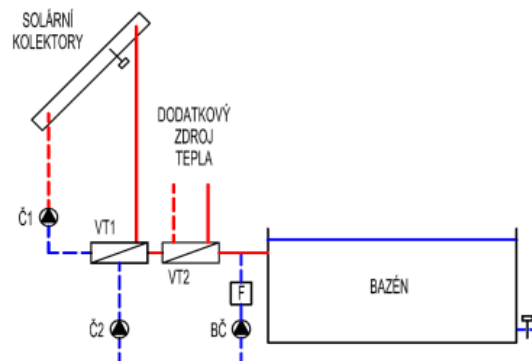
S prvky solární architektury se dnes již běžně setkáváme i v městské zástavbě, například na Moravské zemské knihovně v Brně, kde je dvojitá solární energetická fasáda. Nová budova Moravské zemské knihovny byla postavena v letech 1998-2001 na zastavěné ploše 3 000 m² s kapacitou 630 studijních míst a více než 3 mil. svazků v 8 nadzemních a 3 podzemních podlažích. Ekonomická úspora během topné sezony 2002/2003 zde činila 111 370 Kč. Tato budova byla v roce 2001 oceněna titulem Stavba roku. [6]



Obrázek 2 - solární architektura v Moravské zemské knihovně [7]

3.1.2. Solární systémy pro ohřev bazénové vody

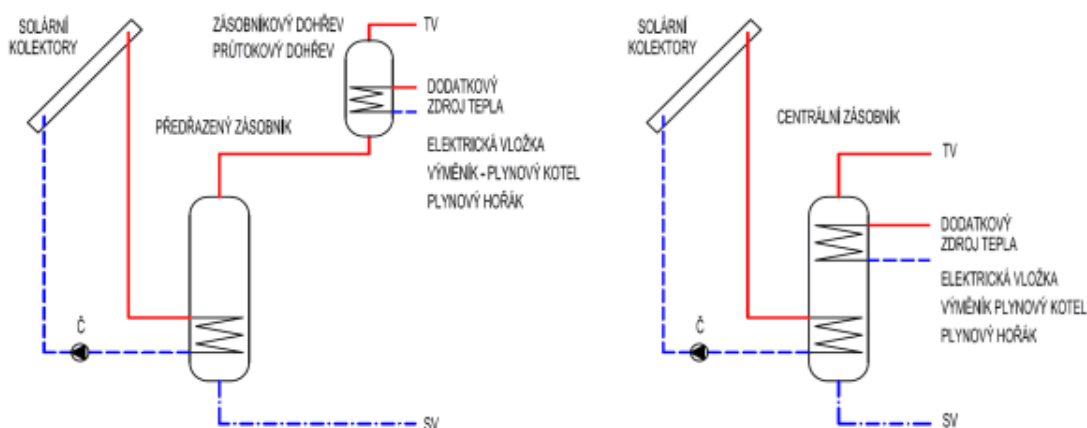
Soustavy pro ohřev vody v bazénu jsou nejjednoduššími solárními systémy. Většinou sestávají pouze z kolektoru (absorbéru) a transportního systému. U bazénů, které se provozují i v zimě (kryté bazény) bývá ještě dodatečný zdroj tepla. Absorbér je vyroben z tmavého plastu (polypropylen, syntetická guma, PVC) odolného proti slunečnímu záření a agresivní bazénové vodě. Tyto systémy mohou být kombinovány se systémy přípravy teplé vody pro domácnost.[8,9,10]



Obrázek 3 - soustava pro ohřev bazénu [10]

3.1.3. Maloplošné solární systémy pro přípravu teplé vody

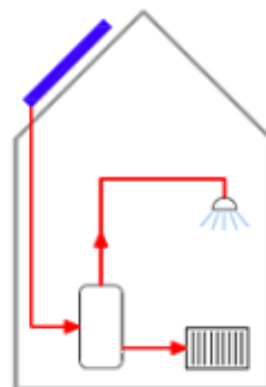
V domě potřebujeme teplou vodu k péči o domácnost a pro osobní hygienu. Jeden člověk v domácnosti spotřebuje v létě asi 30 – 50 l teplé vody (60°C). [3] Ohřev teplé vody tak tvoří významnou část spotřeby energie v domácnosti. U těchto soustav je ohřátá voda z kolektorů vedena do zásobníku, který je takto nabíjen až na požadovanou teplotu.[7] Vzhledem k běžné potřebě teplé vody se tyto systémy konstruují s 2 – 6 m² kolektorů se zásobníkem teplé vody o objemu 200 až 500l. Součástí soustavy může být i dodatečný zdroj tepla (např. plynový kotel), pro dohřátí vody v nepříznivých ročních obdobích.[3]



Obrázek 4 - systémy pro přípravu teplé vody s přehřívacím (vlevo) a bivalentním (vpravo) zásobníkem [11]

3.1.4. Kombinované solární systémy pro vytápění a přípravu teplé vody

Solární soustava může sloužit i k aktivnímu vytápění domu. Rodinný dům běžného typu potřebuje asi 130 – 180 kWh tepelné energie na m² obytné plochy za rok, pasivní domy potřebují kolem 15 kWh na m² obytné plochy [9]. Potřeba tepla se však během roku časově rozchází se špičkami příkonu slunečního záření. V zimním období se tak pokrytí značně snižuje a v létě je naopak třeba uvažovat o využití přebytečného tepla. Je proto výhodné u kombinovaných systémů volit sklon kolektorů nad 45°, čímž dosáhneme vyššího zimního a nižšího letního solárního zisku, případně solární systém kombinovat s vyhříváním bazénu [3]. Solární systémy se mohou budovat jako zcela soběstačné, nebo v kombinaci s dalším zdrojem tepelné energie jako systémy pro podporu vytápění.



Obrázek 5 - soustava pro vytápění a ohřev teplé vody [12]

3.1.5. Velkoplošné solární soustavy

Solární systémy pro přípravu teplé vody a pro vytápění nacházejí uplatnění i v sídlištích s bytovými domy. Tyto soustavy mohou být kombinovány s lokálními blokovými systémy vytápění – místními kotelny. Je zde ale zapotřebí poměrně velkých kolektorových polí a většího počtu zásobníků o vysokém objemu. Předávání tepla mezi soustavou a jednotlivými domy je pak řešeno pomocí domovní předávací stanice. Teplo zde může být předáváno systémem nabíjení zásobníku nebo průtočnou metodou. [9]

3.1.6. Vzduchové solární soustavy

Ve vzduchových solárních soustavách je teponosným médiem vzduch. První vzduchové kolektory spatřily světlo světa již koncem devatenáctého století v USA. Šlo o černé kovové pásy v plochém zaskleném boxu montované svisle na jižní stěny domů. První komplexní zařízení pro vytápění místností však vzniklo až ve čtyřicátých letech minulého století jako výtvar profesora Løfa z Coloradské univerzity.[13]

Vzduch jako teponosné médium má v porovnání s vodou zcela odlišné vlastnosti; ohřívá se rychleji než voda a dosahuje tedy vyšších teplot (ohřev 25-30K) i při zatažené obloze. Vzduch oproti vodě potřebuje o něco větší průřezy proudění a dmýchací výkony, nelze jej použít pro akumulaci tepla díky jeho nízké tepelné kapacitě a jsou potřeba o dost větší přenosové plochy. Oproti tomu však vzduchová zařízení méně podléhají korozi, mají delší životnost a mohou být snadno v provozu po celý rok. Z jednoho m² tak lze získat výkon až 700 W. [13,9]

Tyto systémy jsou zvláště vhodné pro velkoobjemové budovy typu sportovních hal, krytých bazénů, kancelářských budov, škol apod., kde jsou již instalovány klimatizační a větrací soustavy jako nedílná součást budovy.[9]

3.2. Prvky tepelné solární soustavy

3.2.1. Solární kolektory

Kolektor je ta část solárního systému, která je odpovědná za přeměnu slunečního záření na využitelné teplo. Tato přeměna je založena na absorpci slunečního záření, při které se energie fotonů přeměňuje na tepelnou energii, která je pak odvedena z kolektoru pomocí vhodného teplotnosného média. Teplotnosným médiem může být kapalina nebo vzduch.

Základní částí solárního kolektoru je absorbér, na jehož povrchu se přímá i difuzní složka solárního záření přeměňuje na teplo. Absorbér je zpravidla těleso tmavé barvy, kterým nebo kolem kterého je vedena teplotnosná kapalina, která z něj odvádí získané teplo. Tmavý povrch je volen záměrně, aby bylo pohlceno co nejvíce slunečního záření. Součástí kolektoru je také izolace, která má za úkol minimalizovat tepelné ztráty, které vznikají přirozenou snahou systému vyrovnat teplotní rozdíl oproti okolí vyzařováním, konvekcí a vedením. [3,14]

Při výběru solárního kolektoru je nejdůležitějším kritériem rozdíl teplot uvnitř a vně kolektoru, kterého potřebujeme dosáhnout. Důležitým údajem je také účinnost kolektoru, která udává poměr tepelného výkonu odváděného teplotnosnou kapalinou z kolektoru k tepelnému příkonu slunečního záření dopadajícímu na plochu absorbéru.



Obrázek 6 - solární kolektor [15]

3.2.1.1. Ploché atmosférické kolektory

Ploché kolektory se skládají z kovového absorbéru (měď, ocel, hliník), který je umístěn v plochém obalu, který je zespodu izolován a na osvětlené straně je transparentní. Mají široké uplatnění v systémech přípravy teplé vody. Při konstrukci systémů s plochými kolektory je třeba brát zřetel na to, aby byla kolektorová skříň dobře uzavřená a izolace byla dostatečně tlustá a dobře tepelně odolná. Transparentní kryt by měl být pro světlo co nejlépe propustný, odolný proti vysokým teplotám a počasí. [14]

U plochých kolektorů existuje více možností konstrukce absorbéru. Je možné vybrat si mezi lamelovým, deskovým, polštářovým a válcovaným absorbérem. Lamelový absorbér patří mezi nejvíce rozšířené řešení na trhu. Sestává z měděné trubky s měděnými nebo hliníkovými lamelami po stranách. Tyto absorbéry jsou dobře průtočné, mají dobré tepelné vlastnosti a dobře se s nimi manipuluje. Polštářové absorbéry jsou schopny dosáhnout nejlepšího převodu tepelné energie mezi absorbérem a teplonosným médiem. Jsou však hůře odolné proti tlaku a mají vyšší hmotnost. [14]

Mimo konstrukčního řešení závisí výkonnost absorbéru i na povrchové úpravě jeho svrchní plochy. Ta musí kromě vysokého stupně absorpce vykazovat i dobrou odolnost proti vysokým teplotám a teplotním výkyvům. K úpravě povrchu slouží černé nátěry nebo napařované, galvanicky nanesené či tryskané selektivní vrstvy chromu, niklu, hliníku, nebo dalších materiálů. [14]

Výhodou plochých kolektorů je jejich jednoduchost a robustnost konstrukce, dobrý poměr ceny k výkonu a estetická snesitelnost hladkých ploch. [9]

3.2.1.2. Vakuované kolektory

U atmosférických kolektorů dochází ke ztrátám tepla prouděním od absorbéru k vnějšímu plášti kolektoru. Tento problém řeší odstranění vzduchu z prostoru mezi absorbérem a vnějším pláštěm kolektoru. Takovýto kolektor pak dosahuje oproti atmosférickému plochému kolektoru zvýšení stupně účinnosti až o 20% při rozdílu teplot 65°C. Vakuový kolektor může být technicky proveden jako plochý nebo trubkový systém. Oproti plochému kolektoru je na vakuované kolektory kladen nárok na mechanickou odolnost materiálu kolektorů proti rozdílu tlaků.[3, 8,14]

3.2.1.3. Zásobníkové kolektory

Zásobníkový kolektor spojuje funkce kolektoru a zásobníku tepla. Konstrukce takového kolektoru je poměrně jednoduchá. Zásobník spolu s absorbérem je umístěn společně v kolektorové skříni. Kolektor je napojen na instalaci teplé a studené vody a pro dohřívání je v tepelné soustavě instalován dodatečný zdroj tepla pro případy, kdy teplota v zásobníku klesne pod požadovanou teplotu.[3]

Výhodou tohoto uspořádání je nepotřeba dalších stavebních a instalačních prvků. Nevýhodou je rychlejší pokles teploty oproti dobře izolovanému externímu zásobníku a riziko zamrzání v zimním období.[3]

3.2.2. Teplonosná kapalina

Teplonosná kapalina slouží k přenosu tepla z kolektorů do zásobníku. Na charakter teplonosné kapaliny je kladeno několik základních požadavků, z nichž nejdůležitější jsou cenová dostupnost, nízký bod tuhnutí, teplotní odolnost, vhodné fyzikální vlastnosti (nízká viskozita, vysoká tepelná kapacita), zdravotní a ekologická nezávadnost, nehořlavost, kompatibilita s těsnícími materiály a ochrana proti korozi.

V našich podmínkách se pro celoroční použití používají s ohledem na charakter klimatu nemrzoucí směsi na bázi vodných roztoků glykolu.

Voda jako pracovní kapalina je levná, ekologicky i biologicky neškodná, má nízkou viskozitu a vysokou tepelnou kapacitu. Má však poměrně nízký bod varu a vysoký bod tuhnutí, což je v našich klimatických podmínkách nevhodná kombinace.

Vodné roztoky ethylenglykolu nebo polyethylenglykolu v objemovém ředění 40 – 50% mají o něco horší vlastnosti z hlediska viskozity a tepelné kapacity, avšak překonávají problémy s varem a zamrzáním. [3,14]

3.2.3. Potrubí

Potrubí vedou teplonosnou kapalinu z kolektorů do zásobníku a spojují jednotlivé prvky solární soustavy. Potrubí musí být odolné proti korozi teplonosnou kapalinou, namáhání tlakem a vysokými teplotami a neměla by příliš zvyšovat tlakové ztráty v okruhu. Používají se potrubí kovová, plasty se pro nízkou odolnost vůči zatížení vysokými teplotami a tlakem neosvědčily. [3,9,14]

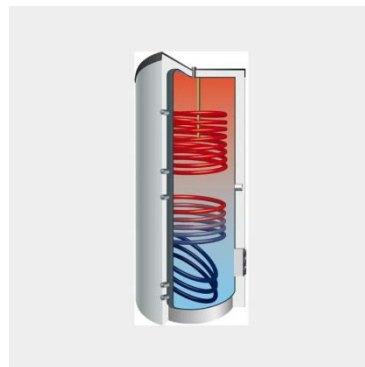
Nejvíce se používá měď, protože je s ní snadnější manipulace (svařování, ohýbání, řezání) a je vysoce odolná proti korozi. S ocelovými trubkami se výrazně hůře pracuje, nicméně při velkoplošných aplikacích je její použití ekonomicky výhodnější.

Kovová potrubí se spojují pájením, lisováním nebo svěrnými spoji. Spoje musí být teplotně odolné a neměly by zvyšovat tlakové ztráty v systému. [3,14]

3.2.4. Tepelný zásobník

Doba nejvyššího příkonu solární energie se u instalací v rodinných domech zpravidla časově nekryje s dobou nejvyššího odběru. K překonání tohoto problému slouží tepelný zásobník, který je možné si představit jako velmi důkladně izolovanou nádrž, která uchovává přebytečnou energii v období vysokého příkonu záření pro období na sluneční záření chudé. Výběr vhodného solárního zásobníku má na solární systém zásadní vliv stejně, jako výběr solárního kolektoru, proto je třeba věnovat pozornost volbě nejlepšího řešení. Objem zásobníku se řídí denní potřebou vody a druhem akumulárního média, které je charakterizováno objemovou akumulární kapacitou.[14]

Schopnost zásobníku udržet teplo je charakterizována časovou konstantou zásobníku. Tou se rozumí doba, za kterou poklesne množství akumulovaného tepla na 37% původní hodnoty [8]



Obrázek 7 - tepelný zásobník [16]

3.2.5. Dodatečný zdroj tepla

V době nedostatku slunečního svitu je nutné, aby byl zabezpečen náhradní, případně dodatečný zdroj tepla, jakým může být elektrický kotel, případně vhodný kotel na tuhá, kapalná nebo plynná paliva. Do solárního zásobníku je pak zaveden další výměník, nebo elektrické topné těleso.

3.2.6. Tepelné výměníky

Tepelný výměník slouží k přenosu tepla mezi oddělenými soustavami. U solárních systémů zajišťuje tepelný výměník přestupy tepla například mezi okruhem kolektorů a tepelným zásobníkem nebo okruhem kolektorů a zásobníkem na TUV.

Základními parametry tepelného výměníku je jeho výkon a tepelná účinnost, která je dána poměrem rozdílu teplot mezi vstupem a výstupem a maximálním dosažitelným rozdílem teplot na výstupu.

Výměníky užívané v solárních soustavách jsou trubkové nebo deskové. V maloplošných soustavách je častěji používán trubkový výměník, který se vyznačuje nízkou tlakovou ztrátou, ale díky laminárnímu proudění kapaliny uvnitř a volnému proudění vně výměníku také nízkým součinitelem prostupu tepla ($150 - 1500 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$). Trubkový výměník je tvořen svinutou měděnou trubkou, která může být hladká nebo pro zvětšení teplosměnné plochy opatřená žebrováním. [3,9]

Podle pozice lze rozlišit výměníky na vnitřní a vnější. Vnitřní výměníky jsou umístěny uvnitř zásobníků tepla a jsou častěji používány v maloplošných soustavách. Jejich hlavní předností je konstrukční jednoduchost soustavy, ve které jsou uplatněny. Při jejich zapojování je nutné dbát na potřeby stratifikace zásobníků, proto by vždy měla horní přípojkou téci teplejší kapalina než spodní přípojkou. Vnější výměníky jsou umístěny mimo zásobník a jsou tepelně izolovány. Kapaliny jimi protékají protiproudě a díky turbulentnímu proudění lze přenášet vyšší tepelné výkony. [3,9]

U vnitřních výměníků je významným problémem vylučování vodního kamene na teplosměnných plochách a tím snižování účinnosti přestupu tepla. Tento problém nabývá na významnosti se zvyšující se tvrdostí vody obzvláště u výměníků opatřených žebrováním, kde s usazováním vodního kamene v žebrech výměníku drasticky zmenšuje plocha a tím i výkon výměníku. Po určité době je vhodné stav výměníku zkontrolovat a usazeniny odstranit. [8, 14]

3.2.7. Čerpadlo

Úkolem čerpadla je dodávat pohybovou, potenciální, nebo tlakovou energii teplotně kapalině v soustavě tak, aby mohla cirkulovat systémem a plnit svoji funkci. Podle principu přenosu energie se čerpadla dělí na hydrostatická a hydrodynamická. U hydrostatických čerpadel se přímo přeměňuje mechanická energie na energii tlakovou podle Pascalova zákona. Mechanickým tlakem pohyblivé součásti (píst, zub, lamela, lopatka) se přímo zvyšuje její tlaková energie. U hydrodynamických čerpadel probíhá přeměna mechanické energie na tlakovou prostřednictvím změny kinetické energie. Kinetická energie oběžného kola se přenáší na kapalinu a mění se na energii tlakovou. [17]



Obrázek 8 - oběhové čerpadlo [19]

V solárních tepelných soustavách se běžněji používá čerpadel hydrodynamických, protože při jeho použití je průtok méně závislý na změně charakteristiky potrubní sítě vlivem teploty. U solárních soustav, kde je nutné přizpůsobit průtok provozním podmínkám, se využívají otáčkově regulovaná čerpadla. S třetí mocninou otáček čerpadla se pak snižuje i jeho elektrický příkon.[3]

Jedna z možností je použití čerpadla napájeného stejnosměrným proudem z fotovoltaického zdroje. Takový systém se pak může obejít bez regulace pomocí tepelných čidel, protože příkon čerpadla je v tomto případě závislý na příkonu solárního záření.[18]

Čerpadlo musí být, stejně jako ostatní součásti soustavy, odolné vůči vysokým teplotám. Jeho typ a umístění se volí tak, aby bylo vyloučeno riziko přehřátí, případně vniknutí teplotně citlivé látky do motoru nebo svorkovnice.[9]

3.2.8. Armatury

Stejně jako u běžných otopných soustav se u solárních systémů používají ventily, zpětné klapky, uzávěry, tlakoměry a teploměry. Tyto díly musí být odolávat teplotám nad 130°C, korozi teplotně citlivou kapalinou a zvýšenému tlaku. Regulační ventily by měly být vybaveny teplotně odolnými skleněnými ukazateli a jako uzavíracích zařízení by mělo být využito kulových kohoutů bez problematického těsnění.[9]

3.2.9. Pojistný ventil

Pojistný ventil se při překročení určité hodnoty tlaku v systému otevírá a nechává odtéci část kapaliny, čímž chrání soustavu před poškozením vlivem tlakových extrémů. Přetlakový ventil se umísťuje tak, aby nemohlo být přerušeno jeho spojení s kolektorem. Vývod pojistného ventilu je zaveden do záchytné nádoby.[14]

3.2.10. Expanzní nádoba

Expanzní nádoba umožňuje vyrovnávat změny objemu teplotně citlivé kapaliny v soustavě způsobené teplotní roztažností teplotně citlivého média. Jedná se o kovovou nádobu rozdělenou uprostřed pružnou membránou, která rozděluje prostor na část naplněnou teplotně citlivou kapalinou a část naplněnou stlačeným plynem. Při zahřívání se teplotně citlivá látka roztahuje a stlačuje plyn v druhé části nádoby, čímž je zajištěno vyrovnání tlaku a objemu v soustavě. Membrána expanzní nádoby by měla být odolná vůči glykolu a vysokým teplotám, zpravidla je použita membrána nitrilová nebo vyrobená z EPDM.[3,14]

3.2.11. Odplyňovač

Po instalaci a naplnění solární soustavy je důležité odstranit z ní vzduch. Vniknutí vzduchu do okruhu může vést ke korozi potrubí, kavitaci, ztrátě přenosových vlastností kapaliny, nemožnosti dostatečného chlazení motoru čerpadla a tím poškození ložisek v čerpadle. V důsledku většího množství vzduchu v soustavě může také dojít k celkovému selhání oběhu, stagnaci a v konečném důsledku k dalšímu poškození čerpadla. Přítomnost vzduchu v solární soustavě je spojená s postřehnutelnými příznaky, kterými jsou kvákavé zvuky a zvuk bublající kapaliny. K zamezení vnikání vzduchu do okruhu je vhodné při plnění soustavy vytvořit přetlak a při návrhu do soustavy zahrnout odplyňovací zařízení.[3,9]

Jako odplyňovací zařízení se používá automatických nebo ručních odvzdušňovacích ventilů konstruovaných tak, aby byly odolné teplotám až 150°C a splňovaly náročné požadavky na těsnost. [3,9]

3.2.12. Regulační zařízení

Úkolem regulační jednotky je řídit oběhové čerpadlo tak, aby byly optimalizovány zisky z kolektorů a zásobníku, a zároveň udržovat hraniční teplotní hodnoty v zásobníku, analyzovat chování soustavy, sledovat její zisky a upozorňovat na poruchové nebo extrémní stavy systému. Základní funkcí řídicí jednotky je zapínání čerpadla v momentu, kdy teplota na kolektoru vzroste nad teplotu ve spodní části zásobníku. Za tím účelem jsou umístěna dvě teplotní čidla, a to na výstupu z kolektorů a v zásobníku. Teplotní čidla reagují na změny teplot v systému a převádějí je na elektrické signály přijímané řídicí jednotkou. Aby se zásobník nezapínal a nevypínal při každém výkyvu teploty, je nastavena tolerance ve výši 2 až 6 °C. [8,14]

Vedle výše zmíněného způsobu řízení čerpadla jeho zapínáním a vypínáním existuje i možnost řídit soustavu spojitou regulací otáček čerpadla. V systému lze měnit průtok kapaliny v rozsahu 30 – 100% maximálního výkonu čerpadla a přizpůsobit tak množství tepla odváděné z kolektorů aktuálnímu příkonu solárního záření. Teplota na výstupu z kolektoru tak může být udržována na konstantní optimální hodnotě o 5 až 10 K vyšší než u výměníku v zásobníku. Při chladném zásobníku pak lze snížit průtok tak, že na vstupu je dosaženo velmi rychlého zvýšení teploty. Uvedené řešení nabízí nadlepšení tepelného zisku soustavy v řádu několika procent. [8, 14]

Součástí moderních řídicích systémů je také omezovač teploty zásobníku, který předchází nadměrnému nabití zásobníku a účinně zabraňuje problémům s usazováním vodního kamene na teplosměnných plochách výměníků probíhajícím při teplotách vyšších než 70 °C. Při překročení nastavené maximální teploty v zásobníku může řídicí jednotka vybavená omezovačem teploty řešit nastalou situaci odpojením oběhového čerpadla, nočním provozem čerpadla, nebo odvodem tepla do systému pro vytápění. [14]

Řídicí jednotka může být dále vybavena kontrolkou signalizující chod čerpadla a manuálním vypínačem čerpadla, počítadlem provozních hodin, ochranou kolektorů proti stagnaci, počítadlem množství tepla, řízením dohřívání z pomocného zdroje a dalšími užitečnými prvky. [14]

Výhodné je propojení řídicí jednotky s počítačem, který pak umožňuje snadno sledovat data o provozu soustavy během dne a upravovat režim čerpadla. V praxi ale platí, že čím je řídicí jednotka komplikovanější, tím obtížnější je její správné nastavení. V poslední době však s rozvojem inteligentních samoregulačních technologií toto pravidlo přestává platit. [8,14]

4. FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY

Fotovoltaické systémy jsou soustavy pro získávání elektrické energie ze slunce pomocí solárních článků na základě fotoelektrického jevu, který je vysvětlen v následujících kapitolách.

Fotovoltaické systémy mohou být použity jako soustava dodávající energii do distribuční sítě, jako systém dodávající elektrickou energii pro přímou spotřebu v místě výroby (např. ostrovní systém), jako různé formy hybridních systémů s dodávkou do sítě nebo zálohováním, nebo jako systém přímo napájející určitý spotřebič – například nabíječku na mobilní telefon, notebook...

4.1. Historie fotovoltaiky

Fotovoltaický jev poprvé pozoroval v roce 1839 francouzský fyzik Alexandre E. Becquerel. Becquerel sledoval napětí mezi dvěma kovovými elektrodami ponořenými do slabé kyseliny, kterými během vystavení světelnému záření procházel proud. Tento jev pak o padesát let později v roce 1876 prokázal Charles Fritts na selenovém polovodiči a v roce 1883 sestrojil tentýž Američan první selenový fotočlánek s účinností asi 2%.

Skutečný průlom ve fotovoltaických technologiích pak přišel až v roce 1955, kdy se Bellovým laboratořím v USA podařilo s křemíkovým materiálem dosáhnout 6% účinnosti a vznikl tak první křemíkový fotočlánek.

Technologie se pak dále rozvíjela díky vesmírným programům, kde se začaly využívat solární články jako zdroj energie pro družice. Další rozvoj v oblasti fotovoltaiky poté nastal v 70. letech 20. století v souvislosti s ropnou krizí a širším využitím polovodičových technologií. V současné době je vývoj nových fotovoltaických technologií poháněn především poptávkou po čistých zdrojích elektrické energie v souvislosti s narůstajícím znečištěním životního prostředí.[20,21,22]



Obrázek 9 - Alexandre Edmond Becquerel [23]

4.2. Nové trendy fotovoltaiky

Dnešní fotovoltaické technologie dosahují v laboratořích až 25% účinnosti, přičemž materiály se již zdaleka neomezují pouze na křemík, ale uspokojivých výsledků je dosahováno i s články z polymerních a dalších materiálů[24]. Křemíková technologie byla první generací fotovoltaických článků, přesto zůstává nadále nejpoužívanější technologií na trhu.

Druhou generaci fotovoltaických článků pak představují tenkovrstvé články, které kromě nižší materiálové náročnosti přinášejí další výhody, jako jsou menší energetické nároky na výrobu, lepší uzpůsobení požadavkům na tvar výrobku a nezávislost na dodávkách krystalického křemíku. Tyto články však zatím bohužel dosahují nižších účinností a jejich životnost je také kratší. K článkům druhé generace řadíme technologii amorfního křemíku, CdTe články, CIGS články, polymerní technologie a články využívající speciálních pigmentů.[25]

Nejnovější technologie třetí generace pak spočívají v dalším ztenčování a zvyšování účinnosti. Účinnost lze zvýšit studiem a zlepšováním technologických detailů jako

je vnitřní strukturování, tenčí kontaktování a pasivace.[26] Dále lze při zvyšování účinnosti pracovat se samotným materiálem článku, například Hershel, Jude et. al. vyvíjejí materiál schopný po kontaktu s jedním fotonem uvolnit dva elektrony [27]. V oboru nanotechnologií je pak zajímavou možností využití vodivých uhlíkových nanotubic [28], nanostrukturních forem křemíku [28] či přidávání nanočástic kovů nebo jejich oxidů, například stříbra či oxidu titaničitého nebo oxidu zinečnatého pro zvýšení fotovoltaické a fotokatalytické aktivity [29].

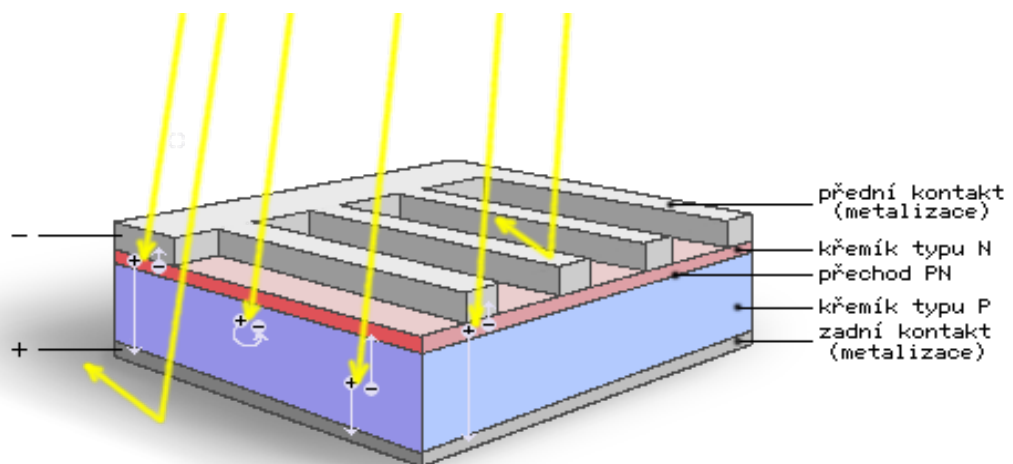
4.3. Princip fungování jednoduchého fotovoltaického článku

Fotoelektrický jev je efekt, při němž dochází při dopadu záření na hmotu k emisi elektronů v důsledku absorpce elektromagnetického záření.[24]

Fotovoltaické články jsou konstruovány z polovodičového materiálu, nejčastěji křemíku. Atomy křemíku jsou v běžných typech článků uspořádány v pravidelné krystalové mřížce, kde valenční elektrony tvoří vazby se sousedními atomy. V solárním článku spolu sousedí dvě odlišně dotované křemíkové vrstvy, osvětlená strana je záporně dotována fosforem a tvoří n-vrstvu článku, zastíněná strana je pak kladně dotována bórem a tvoří p-vrstvu. Mezi n a p vrstvou vzniká elektrické pole způsobené difúzí nadbytečných elektronů ze záporně nabitě n vrstvy s přebytkem elektronů do kladně nabitě p-vrstvy s nadbytkem děr. Tím vzniká tzv. vrstva pohyblivého náboje – oblast s malým počtem volných nosičů náboje. [26]

Při dopadu slunečního světla na solární článek pak energie fotonů uvolní elektrony z vazeb v krystalové mřížce. Tyto elektrony jsou pak volně pohyblivé a na svém původním místě zanechají kladný náboj – díru. Vnitřní elektrické pole pak způsobí, že jsou elektrony a díry přitahovány do opačných směrů – elektrony k n-vrstvě a díry k p-vrstvě. V důsledku tohoto pohybu vzniká rozdíl potenciálů, který se pohybuje okolo 0,6 V. Uzavřeme-li okruh vzniká tak elektrický proud. [26]

Pro odběr elektrického proudu jsou na obou stranách umístěny kovové elektrody – kontakty, které jsou zespoda umístěny celoplošně a svrchu s co nejmenší plochou aby nezastiňovaly fotocitlivou vrstvu. Na povrchu článků ještě bývá antireflexní vrstva z důvodu co nejnižších ztrát světelné energie odrazem. Solární články se propojují do solárních modulů složených z až 72 článků sériově zapojených do jedné nebo dvou větví.[26]



Obrázek 10 - fotovoltaický článek [30]

4.4. Komponenty fotovoltaického systému

4.4.1. Fotovoltaické panely

Základem fotovoltaického panelu je solární článek, jehož princip je již popsán výše. Solární články se spojují do modulů o 36 až 72 článcích zapojených sériově do jedné nebo dvou větví. Větve jsou zapuštěny do ethylen-vinyl-acetátu a zapouzdřeny mezi skleněnou a tedlarovou fólií. Vznikne tak ucelená technologická jednotka chráněná před vnějšími vlivy, která je součástíku připravenou k zapojení do systému. [26]

Na trhu jsou k dispozici tři hlavní typy křemíkových solárních článků, ze kterých se solární moduly sestavují, a to monokrystalické, polykrystalické a články z amorfního křemíku. Novinkou jsou články vyrobené z tenkých vrstev alternativních a polymerních materiálů. Každý z těchto typů se odlišuje svými vlastnostmi a je vhodný pro určitou specifickou oblast aplikace. [26, 31]

4.4.1.1. Panely z křemíkového monokrystalu

Monokrystalické články jsou nejstarším a dodnes nejpoužívanějším typem technologie. Jejich předností je stabilita výkonu v čase a vysoká účinnost. Jsou tmavě modré až černé barvy a sestávají z jednoho krystalu křemíku ve tvaru čtverce o hraně 10 až 15 cm. Během výroby solárního článku je na monokrystalové křemíkové destičky nařezané z monokrystalického křemíkového ingotu vyrobeného Czochralského metodou napařena tenká vrstva dotovaná difuzí fosforu, dále je nalepena zadní kontaktní vrstva a antireflexní vrstva. Sériově vyráběné monokrystalové články dosahují účinnosti až 20%, avšak jejich nevýhodou je vysoká spotřeba křemíku při jejich výrobě a tím i horší cenová dostupnost. [20,22, 26,31]

Kvůli zvyšující se ceně křemíku na trhu se množství použitého křemíkového materiálu stalo limitujícím faktorem pro výrobní cenu solárního článku. Snahou výrobců je tak snižování tloušťky křemíkových destiček a recyklace odpadu vzniklého při řezání destiček z ingotů.[31]



Obrázek 11 –
monokrystalický panel [32]

4.4.1.2. Polykrystalické články

Polykrystalické články jsou podobně jako monokrystalické vyráběny z destiček křemíku o hraně mezi 10 a 21 cm. Od monokrystalických článků se na první pohled liší modře se třpytícím povrchem. Výroba polykrystalických článků je levnější a jednodušší, nicméně jejich účinnost se pohybuje mezi pouhými 13% až 16%.[26]

4.4.1.1. Tenkovrstvé články

Amorfni křemík s neuspořádanou strukturou je základem technologie moderních tenkovrstvých článků. Vyrábí se rozkladem plynných sloučenin křemíku jako je silan nebo dichlorsilan ve vodíkové atmosféře. Na skleněnou, plastovou či nerezovou

podložku je pak nanášena tenká vrstva amorfního křemíku. Tato technologie představuje významnou úsporu křemíkového materiálu. Nevýhodou amorfního křemíku je nízká účinnost takto vyrobených článků (mezi 10 a 15 procenty) a jejich poměrně rychlá počáteční degradace.[22,26]

4.4.2. Akumulátory

U fotovoltaického systému, stejně jako u tepelného, je jedním z nejzávažnějších problémů nerovnoměrnost slunečního svitu během dne. Řešením problému je akumulace energie pro účely využití přebytků z doby intenzivního slunečního svitu v dobách s jeho nedostatkem.

Solární články samy o sobě nejsou schopny uchovávat získanou energii, k tomu v solárním systému slouží nejčastěji soustava akumulátorů. Potřebná kapacita akumulátorů se odvíjí od požadavků na nepřetržité zásobování energií. Baterie musí být vybírány tak, aby byl zajištěn dostatek energie pro běžnou spotřebu po celý den. Z důvodu vysokých nároků na akumulátory se tak ostrovní solární systém oproti systému napojenému na síť výrazně prodražuje. [22]

Na trhu jsou v současnosti tři základní typy akumulátorů: olověné, alkalické a lithium iontové akumulátory.

Nejčastěji jsou pro jejich nízkou cenu používány olověné akumulátory optimalizované na hluboké vybíjení a vykazující nízké samovybíjení. Alkalické akumulátory, mezi které patří akumulátory nikl-kadmiové, nikl-ocelové a nikl-metalhydridové, mají delší životnost, avšak trpí paměťovým efektem a samovybíjením. Lithium-iontové mají nejlepší vlastnosti - vysoké napětí, nízké samovybíjení a žádný paměťový efekt - jsou ale také velmi drahým řešením.

4.4.3. Solární regulátory

Regulátor slouží ve fotovoltaickém systému jako stabilizátor napětí a řízení nabíjení baterie. Snižuje napětí ze solárního modulu na napětí potřebné pro dobíjení akumulátorů. Současně regulátor udržuje baterie v optimálně nabitěm stavu a chrání je před přebíjením.

4.4.4. Střídače

Fotovoltaický panel generuje elektrickou energii ve formě stejnosměrného proudu, distribuční síť a většina spotřebičů je konstruována pro proud střídavý. K propojení fotovoltaického systému s rozvody a spotřebiči slouží střídač, který převádí stejnosměrný proud na střídavý o potřebné frekvenci a napětí. Mimoto může střídač sloužit i jako centrála zaznamenávající a regulující provozní stav soustavy, případně plnit funkci, přepěťové pojistky a ochrany před přetížením. [26]

Střídače jsou vybírány podle typu soustavy a způsobu zapojení. Na trhu jsou střídače pro ostrovní provoz, pro připojení k síti a pro hybridní provoz. Pro zapojení střídačů do soustavy existuje řada možností – lze zapojit jeden střídač pro celou soustavu, jeden střídač pro každou větev, nebo pro každý jednotlivý modul.[26]

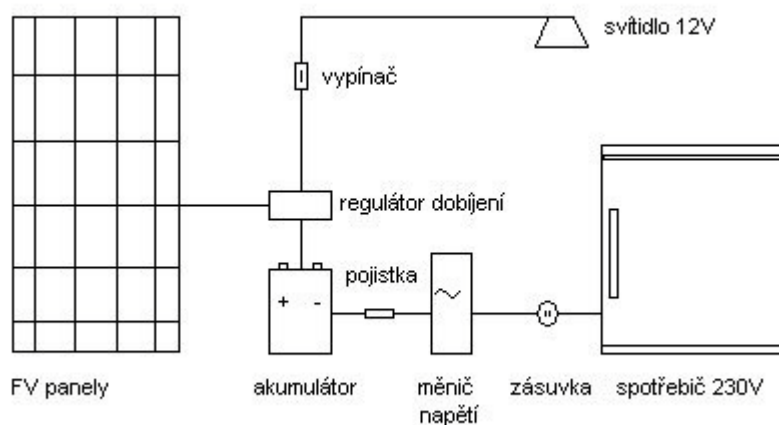
Dostupné jsou různé konstrukční typy střídačů: střídače s nízkofrekvenčním transformátorem, střídače s vysokofrekvenčním transformátorem, střídače bez transformátoru, se zvyšovacím nebo snižovacím střídačem. Střídače bez transformátoru jsou účinnější, lehčí a menší a tišší. Střídače s transformátorem jsou o něco větší a hlučnější, avšak díky oddělené střídavé a stejnosměrné části jsou o něco bezpečnější a produkují méně elektromagnetického rušení.[26]

4.5. Typy fotovoltaických soustav

4.5.1. Malé ostrovní systémy

Ostrovní systémy jsou soustavami nenapojenými na síť, které jsou většinou dimenzovány na pokrytí spotřeby celé domácnosti. Sestávají z baterií, regulátoru nabíjení, měniče pro ostrovní systémy. Baterie jsou dimenzovány tak, aby byly schopny pokrýt spotřebu v noci a několik dní sníženého slunečního svitu.

Další možností je samostatné napájení spotřebiče, který pracuje na stejnosměrný proud přes regulátor napětí.



Obrázek 12 - ostrovní fotovoltaický systém [33]

4.5.2. Síťové systémy

Síťové systémy jsou elektrárnami dodávajícími energii do veřejné sítě. Sestávají ze solárních generátorů a síťového střídače, který stejnosměrné napětí z panelů mění na napětí střídavé odebírané sítí.

4.5.3. Hybridní ostrovní systémy

Hybridní ostrovní systémy jsou ostrovní systémy s možností odběru energie v případě, kdy je baterie vybitá a systém nezvládá pokrýt potřebu odběratele. Jejich součástí je multifunkční nebo hybridní střídač, případně baterie a regulátor nabíjení.

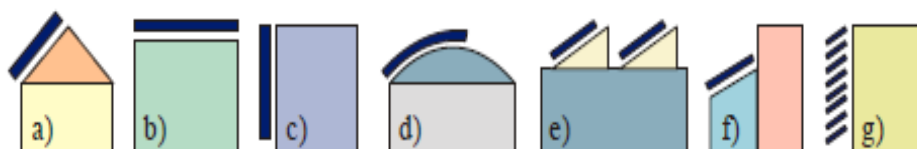
4.5.4. Hybridní síťové systémy

Hybridní síťový systém je systém obousměrně komunikující s distribuční sítí – v případě nedostatku energie produkované solárním systémem odebírá ze sítě a v případě přebytků do sítě dodává. Součástí tohoto systému je hybridní střídač nebo kombinace hybridního a síťového střídače.

4.6. Volba umístění a sklonu fotovoltaického generátoru

Při volbě umístění solárních panelů je důležitá vhodná orientace ke slunci a co nejnižší zastínění. K určení vhodné polohy a sklonu fotovoltaických panelů se používají diagramy ozáření, z nichž lze zjistit roční ozáření pro libovolnou orientaci a sklon plochy.

Při umísťování panelů je mimo technologická hlediska nutné zhodnotit hlediska funkční a estetická a brát v potaz i situaci a typ objektu, na který je fotovoltaický systém instalován. Různé způsoby umístění fotovoltaického generátoru jsou naznačeny na obrázku č. 7



Obrázek 13 – způsoby umístění fotovoltaických panelů na budovách:

a) šikmá střecha

b) plochá střecha

c) fasáda,

d) velkoplošná tenkovrstvá fotovoltaika,

e) průmyslové stavby,

f) semitrparentní fotovoltaika pro atria a výplně otvorů,

g) stínící systémy

[31]

Kromě úhlu a polohy systému má vliv na výkon fotovoltaického systému také zastínění. Stínit mohou sousední i vzdálené vysoké budovy, stromy, vedení, komíny, satelitní přijímače, antény, střešní konstrukce a další objekty nacházející se v bezprostřední blízkosti systému. K určení ztrát zastíněním slouží analýza zastínění. Pro analýzu zastínění se zaznamenává linie horizontu v úhlu 180° od východu k jihu a západu ve vztahu ke středu solárního systému. Dále se zjistí rozměry a vzdálenost objektů, které jsou příčinou zastínění a ze získaných údajů se určí úhel azimutu (úhel mezi objektem a středem soustavy ve vodorovné rovině) a úhel výšky γ . Úhel azimutu lze určit snadno pomocí kompasu, úhel výšky se zjistí výpočtem [35]:

$$\gamma = \arctg \frac{\Delta h}{d} \quad (1)$$

Kde

Δh je rozdíl výšky středu a solární soustavy a stínícího objektu,

d je vodorovná vzdálenost středu solární soustavy a stínícího objektu.

Ze zjištěných úhlů se pak vyznačí linie horizontu v diagramu dráhy slunce, ze kterého poté lze odečíst zastínění soustavy během různých dní v roce. Jednodušším způsobem lze diagram zastínění sestavit pomocí na trhu běžně dostupného nástroje Solar Pathfinder, který sestává z plastové polokoule a zeměpisně specifické vložky s grafickým znázorněním dráhy slunce. Stíny se pak zaznamenávají podle odrazu stínících objektů na grafickou vložku.[26,35]

Dalším problémem, který se při návrhu umístění a sklonu systému bere v úvahu je v závislosti na lokálních klimatických podmínkách možnost zasněžení. Protože jsou fotovoltaické panely většinou teplejší než okolí, při teplotách blízkých bodu mrazu na nich sníh odtává a nenamrzá, jejich hladký povrch pak napomáhá sjíždění sněhových závějí. Přesto se však v oblastech, kde se teploty v zimě pohybují po delší dobu pod bodem mrazu, doporučuje umísťovat panely v co nejvíce vertikální poloze, aby se zamezilo tvorbě sněhových závějí, negativně ovlivňujících výkon fotovoltaické soustavy. Naopak v teplých oblastech se solární systémy umísťují pokud možno v horizontální poloze k maximalizaci solárních zisků.[35]

4.7. Výkon a účinnost solárního systému

Výkon solárního panelu se udává v jednotce Watt peak (Wp), která je jednotkou špičkového výkonu dosaženého při ideálních podmínkách, které odpovídají toku dopadajícího záření 1000 W/m^2 , $25 \text{ }^\circ\text{C}$ a normalizovanému světelnému spektru slunečního záření. [22]

V podmínkách ČR ale není dosažení této hodnoty ozáření příliš běžné, zdroj SolarGIS uvádí průměrnou hodnotu zářivého výkonu 8 kWh/m^2 denně, v letních měsících, to je po 12 hodin slunečního svitu průměrně asi 667 W/m^2 . [2]

Velikost solárního systému záleží na tom, zda je systém určen pro spotřebu elektrické energie v místě její výroby, nebo systém slouží i pro dodávání energie do sítě. Zatímco v prvním případě se jeho velikost volí podle potřebného výkonu, v druhém spíše podle finančních možností a velikosti dostupné plochy pro instalaci.

4.8. Státní podpora fotovoltaiky

V České republice se právní úpravy týkají zejména systémů připojených k síti. Základním předpisem týkajícím se obnovitelných zdrojů je zákon č. 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, který je v platnosti od 1. ledna roku 2013. Tento zákon upravuje podporu výroby elektřiny a tepla z obnovitelných zdrojů (dále jen zákon č.165/2012 Sb.), obsah a tvorbu národního akčního plánu pro energii z obnovitelných zdrojů, podmínky pro vydávání záruk původu energie z obnovitelných zdrojů, odvod z elektřiny z fotovoltaických zdrojů, financování podpory na úhradu nákladů spojených s podporou elektřiny z podporovaných zdrojů.[36]

Dle zákona č. 165/2012 Sb. se na výrobní elektřiny ze slunce do 30 kWp umístěnou na budově státní vztahuje podpora formou garantované výkupní ceny nebo zeleného bonusu, tyto formy podpory pro jednu provozovnu nelze kombinovat. Výrobce, který chce využívat některé z těchto forem podpory, musí mít systém s možností dodávky energie do sítě. § 7 zákona č. 165/2012 Sb. stanovuje, že provozovatel přenosové soustavy je pak povinen výrobce přednostně připojit k přenosové soustavě nebo k

distribuční soustavě. Provozovatel fotovoltaické elektrárny musí mít licenci a stává se podnikatelem (je mu přiděleno IČO).[36]

V případě zvolení formy podpory formou výkupních cen je povinně vykupující povinen vykupovat veškerou dodanou elektřinu z obnovitelných zdrojů za cenu stanovenou aktuálním cenovým rozhodnutím Energetického regulačního úřadu.[36]

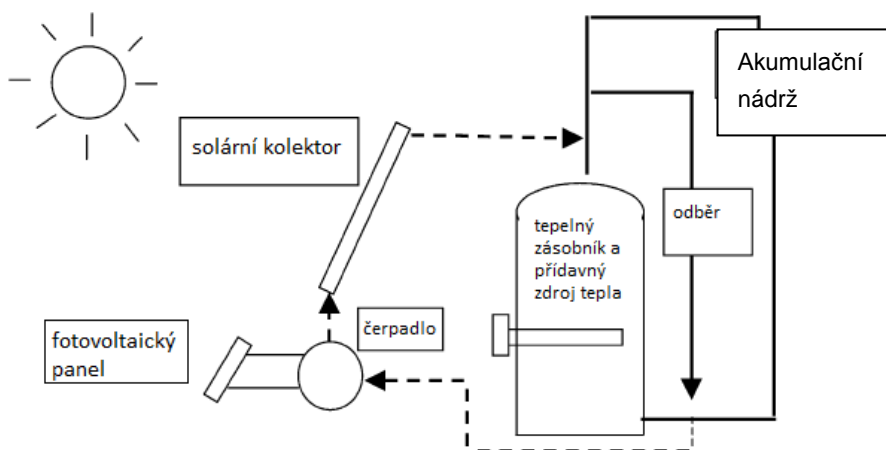
Zelený bonus je stanoven jako příplatek k tržní ceně elektřiny. Prodá-li výrobce elektřinu z obnovitelného zdroje za smlouvanou tržní cenu účastníkovi trhu s elektřinou nebo vyrobenou elektřinu sám spotřebuje, má právo navíc inkasovat od operátora trhu na základě předloženého výkazu zelené bonusy. Výše zeleného bonusu je pro každý druh každoročně upravována a zveřejněna v cenovém rozhodnutí Energetického regulačního úřadu. [36]

5. KOMBINOVANÉ FOTOVOLTAICKÉ/TEPELNÉ SOLÁRNÍ SYSTÉMY

5.1. Kombinované fotovoltaické/tepelné solární systémy

Kombinovaný systém poskytuje elektrickou i tepelnou solární energii, na rozdíl od hybridních systémů, diskutovaných v následující kapitole jsou zde solární kolektory prostorově odděleny od fotovoltaických panelů. Fotovoltaika zde může sloužit k dodávce elektrické energie, která je potřebná pro provoz solární tepelné soustavy. Zároveň může ukládat přebytky do akumulční nádrže ve formě tepla. Základem principu tohoto řešení je skutečnost, že spotřeba termického systému se zvyšuje ve chvílích s nejvyšším solárním ziskem.

Takový systém je již aplikován v mnoha projektech zejména ostrovních energeticky nezávislých systémů. O možnosti pohonu solárního tepelného systému poháněného elektrickou energií získanou pomocí fotovoltaických panelů se zmiňuje již práce G. J. Parkera z roku 1976 [34].



Obrázek 14 - kombinovaný solární systém [34]

5.2. Hybridní fotovoltaické/tepelné solární systémy

Hybridní technologie kombinují principy fotovoltaických a tepelných systémů do jednoho modulu za účelem zvýšení účinnosti konverze solární energie a ekonomičtějšího využití dostupné plochy. Hybridní panely tak produkují současně tepelnou a elektrickou energii. Tato technologie je v současné době nová, je postupně zaváděna a optimalizována tak, aby mohla nahradit současné fotovoltaické a termální systémy.[1]

Jedním z problémů fotovoltaických systémů je, že s nárůstem teploty se snižuje jeho účinnost. Nárůst teploty o 1K vede ke snížení účinnosti o 0,4 – 0,5% u běžných článků z krystalického křemíku, u článků z amorfního křemíku se účinnost snižuje o 0,25%. Pro zvýšení účinnosti fotovoltaického systému je tak velmi vhodné přebytečné teplo odvádět a dále využívat. Za tímto účelem byly vyvinuty hybridní technologie, které kombinují fotovoltaické články se systémy odvádění a využívání tepla do jednoho samostatného modulu. Fotovoltaika je tak dobře chlazená a je možné současně využít získané teplo.[37] Ideální teplota fotovoltaického systému však zůstává nižší, než

ideální pracovní teplota termického systému, který tak nemůže sám o sobě postačit jako samostatný zdroj tepla.

Hybridní modul je složen z několika funkčních vrstev. Pod transparentním pokryvem je obvykle mezera vyplněná vzduchem a fotovoltaické články, pod nimiž je teplotonosná vrstva, v níž v tenkých trubičkách proudí pracovní tekutina (nejčastěji voda nebo vzduch).[37]

Ekonomická návratnost komerčně dostupných systémů se v současné době pohybuje, mezi 17 až 30 lety. Účinnost získání elektrické energie u systémů s vodou jako pracovní kapalinou je uváděna kolem 9,5% a 50% u tepelné energie. [1]

6. PRAKTICKÁ ČÁST – PROJEKT TEPELNÉHO SOLÁRNÍHO SYSTÉMU

6.1. Zadání – cíl projektu

Cílem projektu je zpracovat návrh řešení systému, který by optimalizoval spotřebu energie maloplošné tepelné solární soustavy pro ohřev TUV a vytápění popsané v kapitole 7.3. Nejdříve bude provedeno dimenzování – zjištění potřeby energie. Dále bude provedena volba jednotlivých prvků soustavy, navrženo jejich zapojení. V neposlední řadě bude provedena ekonomická analýza navržených řešení.

Požadavky na navržený systém:

- Systém by měl optimalizovat spotřebu energie tepelným systémem
- Systém by měl obsahovat zálohu pro nepřetržitý provoz tepelného solárního systému i v případě výpadku proudu
- Vstupní investice systému by neměla překročit 150 000 Kč a měla by být návratná do 20 let

6.2. Reálný tepelný solární systém

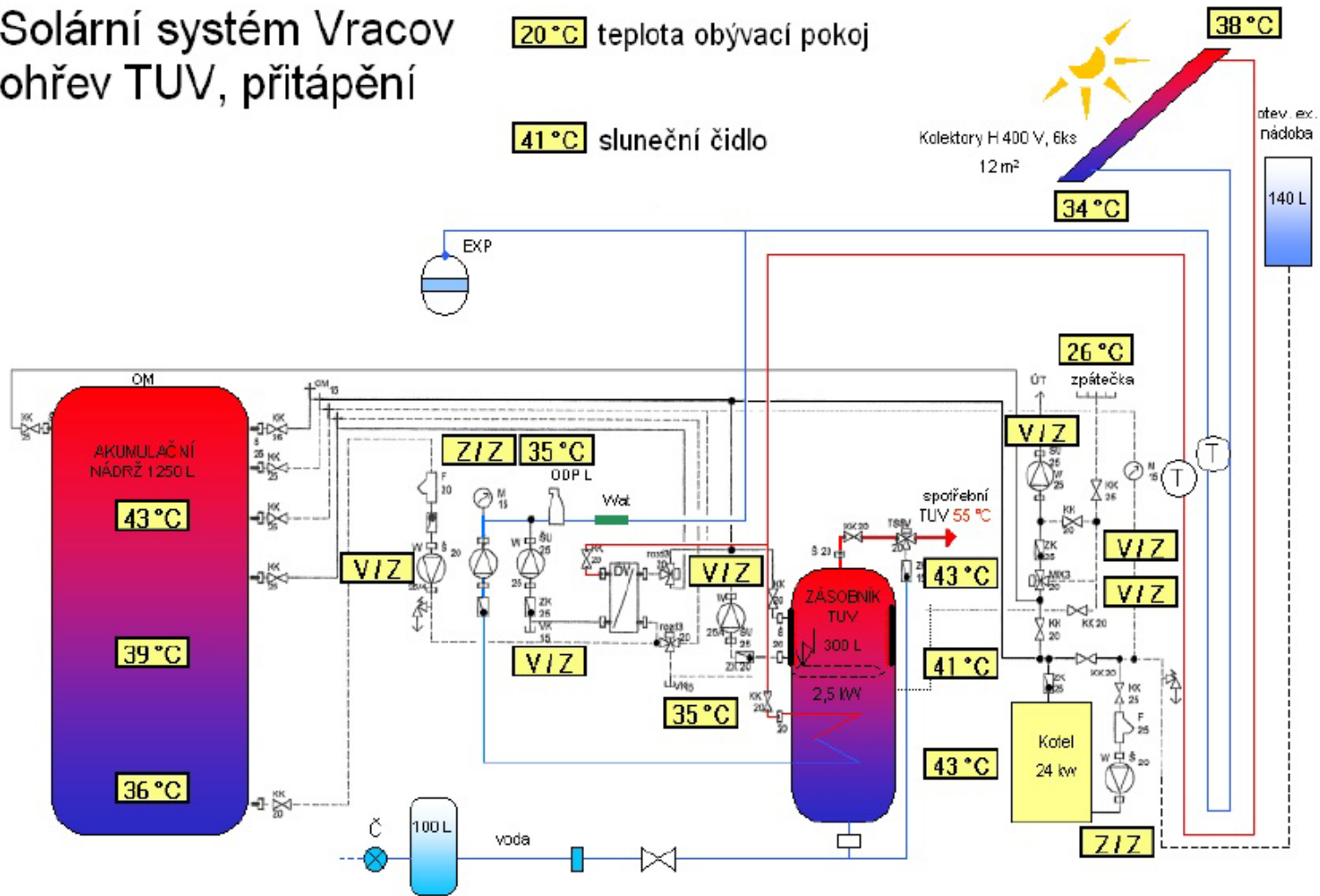
Řešení bude implementováno na stávající tepelnou soustavu pro podporu vytápění v přechodných obdobích a ohřev TUV ve Vracově, jehož funkční schéma je zobrazeno na následující straně.

26

Solární systém Vracov ohřev TUV, přitápění

20 °C teplota obývací pokoj

41 °C sluneční čidlo



Obrázek 15 - tepelná soustava Vracov [38]

6.2.1. Solární kolektory

Solární systém je složen ze šesti kusů plochých vakuových kolektorů Heliostar H400V CF, které vyrobila slovenská firma Thermosolar Žiar nad Hronom.

Kolektory H400V CF jsou osazeny přírubovými vývody a sestávají z kompaktní lisované skříně, ve které je pomocí zasklívacího rámu z hliníkových profilů zasazeno bezpečností solární sklo. Lamely absorbéru z tvarovaného z Al-Mg plechu s nánosem vysoce selektivní vrstvy na bázi oxidu hlinitého obepínají meandry tvořené měděnými trubkami, kterými protéká teplotonosná kapalina typu Solaren, (Velvana a.s., Velvary ČR).[38]

6.2.2. Solární bojler a akumulční nádrž

Solární bojler ROLF typu Antikor SOL 300 o celkovém objemu 300 l je vybaven vlnitým trubkovým výměníkem, plochým ohřívacím výměníkem, topnou elektrickou spirálou a anodickou ochranou. Zásobník je včetně výměníků nerezový, maximální provozní tlak zásobníku a výměníků je 1 MPa, maximální provozní teplota zásobníku je 90 °C, maximální provozní teplota výměníků je 110 °C. Tepelná ztráta zásobníku je 1,6 kW za den.[37]

Akumulční nádrž o objemu 1250 l od výrobce Solartop, Nové město na Moravě je izolována polystyrenovými deskami o tloušťce 30 + 5 cm.[38]

6.2.3. Řízení soustavy

Řídicí jednotka Hanazeder SH-8 vybavená čtrnácti analogovými a dvěma digitálními výstupy zajišťuje monitoring teplot, regulaci vstupů a výstupů tepla z a do bojleru a akumulční nádrže, řízení spínání plynového kotle a ovládání čerpadel a ventilů v soustavě. Řídicí jednotka zajišťuje výše uvedené regulační funkce na základě parametrů jako je vnější a vnitřní teplota vzduchu, teplota na zpátečce topení a teploty měřené v jednotlivých bodech soustavy získaných z analogových měřicích prvků (manometr a teploměry).[38]

6.2.4. Oběhový systém

Potrubím z měděných trubek o celkové délce 80 metrů proudí teplotonosná kapalina Solaren poháněna sedmi čerpadly:

1x Eco 25/1-5 BMS

1x WILO RS 25/6

3x WILO RS 25/4

2x Grudfoss magna 3

6.2.5. Ostatní prvky soustavy

V systému je dále instalována expanzní nádrž a jako pomocný zdroj tepla je v soustavě instalován plynový kotel Dakon o špičkovém výkonu 25 kW. Kotel má elektronicky upravenou topnou křivku s optimem při 12 kW a do regulačního systému je připojen jako řízený [38].

6.3. Fotovoltaika jako možné řešení problému energetické spotřeby tepelného systému

Pro řešení pokrytí spotřeby elektrické energie tepelným systémem lze s výhodou využít fotovoltaicky generované elektrické energie vycházíme-li z úvahy, že vnitřní spotřeba tohoto systému bude nejvyšší v době nejvyšší intenzity slunečního záření. Tato úvaha je podpořena řadou zahraničních studií, které na tento fakt upozorňují již od 70. let 20. století. Studie zabývající se tímto tématem jsou přiblíženy v kapitole řešerše aplikovaných řešení.

Kombinace tepelného systému s fotovoltaickým se zdá být výhodná i z důvodu velkých přebytků vyrobené elektrické energie vyrobené fotovoltaickou elektrárnou v letním období. Tepelná soustava nabízí možnost akumulace těchto přebytků k pozdějšímu využití a úspoře.

6.3.1. Rešerše aplikovaných řešení

Na potřebu externí dodávky elektrické energie pro solární tepelné soustavy a možnost využití fotovoltaických panelů pro její dodávku upozorňuje již článek G. J. Parkera publikovaný v *Solar Energy* v roce 1976 [34]. V roce 1977 byly na konferenci *Proceedings of the first E. C. Photovoltaic Solar Energy Systems Conference* zveřejněny příspěvky R. Prida [39] a J. Rogera [40,41] týkající se fotovoltaicky poháněných čerpadel, na které navazoval velký počet prací, které se zabývaly optimalizací provozu a způsoby zapojení čerpadel napájených fotovoltaickými články [42,43,44].

Myšlenku použití solární elektrické energie pro pohon čerpadel v domácích solárních systémech pro vytápění a ohřev teplé vody pak dále rozvíjel Al-Ibrahim et. al. v roce 1996 [45]. Tato práce mimo jiné poukazuje na výhody přímého spojení fotovoltaického generátoru s čerpadly, kdy lze využít výhody řízení otáček čerpadla dle příkonu solárního generátoru místo do té doby obvyklého systému spínání čerpadla na základě údajů z teplotních senzorů. Výhodou přímé regulace čerpadla fotovoltaickým systémem je tak plynulejší náběh tepelného systému bez počátečních výkyvů. Jako další výhoda tohoto systému je pak zmíněna získaná nezávislost takto poháněného tepelného solárního systému na dodávce elektrické energie ze vzdálených zdrojů. Mimoto bylo zjištěno, že fotovoltaicky poháněné a regulované systémy vykazují vyšší účinnosti díky optimálně řízenému průtoku teplotně nosné kapaliny systémem [45]. Na tuto práci navázal Y. G. Bai et. al. [46], kteří experimentovali se soustavou se dvěma plochými kolektory o ploše dvou a čtyř čtverečných metrů umístěnými ve francouzském Národním institutu solární energie (INES) a srovnávali různé konfigurace přímého napájení soustavy. Optimální konfiguraci a volbě kompatibilních prvků soustavy se věnovali i T. Grassie et. al., kteří srovnávali výkonovou charakteristiku solárního fotovoltaického generátoru s hydraulickou charakteristikou tepelného solárního systému. [47]

Ekonomickou analýzu fotovoltaicky poháněných solárních systémů na přípravu teplé užitkové vody umístěných v Kuvajtu zpracoval Abdel A Ghoneim, et. al. [48]

6.3.2. Environmentální stránka řešeného projektu

Motivací k pořízení solárního systému nemusí být pouze ekonomické nebo praktické důvody. Jedním z důvodů vhodnosti takového řešení zásobování objektu energií může být i hledisko environmentální. Jak bylo již zmíněno, samotný provoz fotovoltaiky neprodukuje odpady ani emise, jak je to ale s výrobou komponent?

Pro posouzení environmentálních dopadů výrobků se používá metoda analýzy životního cyklu. Rešeršní studie [49] zabývající se tématem analýzy životního cyklu monokrystalických solárních fotovoltaických panelů popisuje výrobní cyklus panelu takto:

- Purifikace křemíku – během tohoto procesu je v peci za vysokých teplot redukován oxid křemičitý na křemík.
- Vytvoření ingotu a nařezání na tenké destičky, ze kterých se vyrobí článek
- Sestavení panelu

Během tohoto procesu vznikne asi 5 kg oxidu uhličitého na 1kWp [49] panelu. Pro srovnání vyhláška č. 425/2004 Sb. Ministerstva průmyslu a obchodu, kterou se vydávají podrobnosti náležitostí energetického auditu [50], udává emisní faktor výroby elektřiny 1,17 t CO₂ na 1 MWh.

Zajímavé je srovnání energetické návratnosti, které uvádí zmíněná rešeršní studie [49] a které uvádím v tabulce č.1.

Tabulka 1 - studie životního cyklu monokrystalických a polykrystalických panelů

Studie životního cyklu monokrystalického fotovoltaického systému[49]						
Rok	Místo	Účinnost (%)	Výkon	Životnost	Návratnost roky	Emise uhlíku (g-CO ₂ /kWh)
1990	USA	8.5	300 kW	30	není dostupné	280
1997	Japonsko	na	3 kW	20	15.5	91
2000	Nizozemí	14	-	30	3.2	60
2002	Indie	13	35 W	20	-	64.8
2006	Velká Británie	11.5	14.4 kW	30	8	44
2006	Singapur	10.6	2.7 kW	25	4.47	165
Studie životního cyklu polykrystalického fotovoltaického systému[49]						
Rok	Místo	Účinnost (%)	Výkon	Životnost	Návratnost roky	Emise uhlíku (g-CO ₂ /kWh)
2003	Čína	12.8	100 MW	30	1.7	12
2005	Japonsko	10	3 kW	30	na	53.4
2005	Itálie	10.7	1 kW	20a	3.3	26.4
2005	Řecko	-	3 kW	20a	2.9	104
2007	USA	12.92	33 kW	20	5.7	72.4
2008	Čína	12.8	100 MW	30	1.9	12.1
2008	Čína	15.8b	100 MW	30	1.5	9.4

Je třeba však myslet i na to, že v solární soustavě nejsou pouze moduly, ale i další zařízení, jako například střídače, nabíječky baterií, baterie atd. Muneer et. al. [51]

Zkoumali životní cyklus soustavy s monokrystalickými křemíkovými panely o výkonu 14,4 kWp jako celek a spočítali návratnost prvků elektroinstalace na 8 let.

6.4. Dimenzování

Účelem tohoto projektu je pokrýt vnitřní spotřebu solárního tepelného systému. Ke zjištění spotřeby systému bylo v průběhu topné sezony 2012/2013 provedeno měření, jehož výsledky jsou znázorněny v grafu 1. Z měření je patrné, že spotřeba energie systému se v průběhu roku pohybuje mezi 500 a 1000 Wh/m²den.

Pro výpočet potřebné plochy solárního systému byly dále použity údaje průměrného denního plošného příkonu záření v jednotlivých týdnech naměřené v roce 2012 měřícím zařízením v místě instalace systému a dále spotřeba tepelného solárního čerpadla v témže čase. Z níže uvedeného srovnání naměřených dat z roku 2012 a 2007 je patrné, že hodnota zářivého příkonu je silně závislá na momentální meteorologické situaci a proto je nutné, aby systém byl schopen pracovat v širokém rozpětí podmínek.

Výpočet plochy A pak byl proveden jako podíl maximální spotřeby E_{max} elektrické energie systému a průměrného příkonu záření G opraveného o účinnost η průměrného solárního panelu – jako dnes běžně dosahovaná hodnota byla zvolena účinnost 16%.

$$A = \frac{E_{max}}{G \cdot \eta}$$

(2)

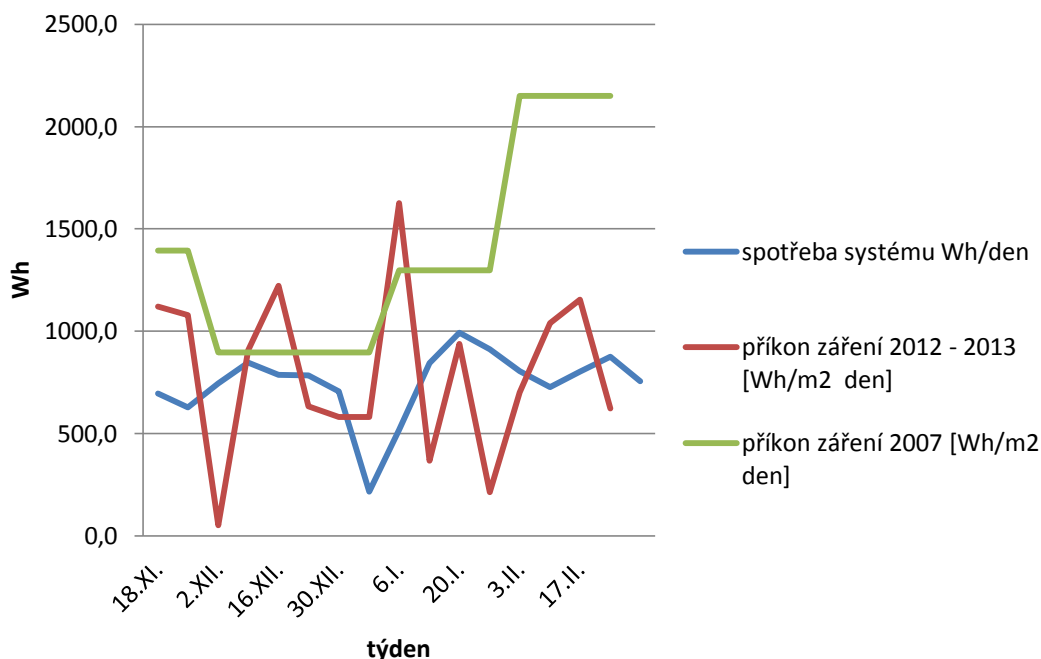
Tabulka 2 - dimenzování

E_{max}	1190.00	Wh/den
η	0.16	
G	1011.40	Wh/m ² za den
A	7.35	m²

Maximální denní spotřebu elektrické energie tedy může pokrýt plocha 7,35 m² panelu. Plocha jednoho panelu o šedesáti článcích o hraně 165mm je 1,64 m², k pokrytí spotřeby tak postačí čtyři až pět panelů.

Dalším krokem je úvaha o potřebném výkonu, který má být fotovoltaickým systémem zabezpečen. V uvažovaném tepelném systému jsou nejvýznamnějšími spotřebiči čerpadla. Součet maximálních elektrických příkonů všech čerpadel činí 320 W, na zabezpečení požadovaného výkonu tedy budou dostačující dva panely o výkonu 230 až 270 Wp.

Spotřeba systému a příkon záření



Graf 1 – příkon záření a spotřeba záření

6.5. Volba fotovoltaického generátoru

Jakmile je známa spotřeba systému a plocha generátoru nutná k jejímu zabezpečení, je možné vybrat fotovoltaický generátor. V následující tabulce je přehled vybraných solárních fotovoltaických panelů dostupných na trhu.

V rámci uvedené nabídky monokrystalických panelů se jako nejvhodnější jeví monokrystalický panel řady Panda typu YL 270C-30b Black&Black čínského výrobce Yingli, který díky vysoce transparentnímu povrchu dosahuje účinností až 17,1 % a cena za Wp je nejnižší z uvedené nabídky monokrystalických panelů. Výhodou monokrystalických panelů je stálost výkonu v čase.

Tabulka 3 - přehled vybraných solárních panelů na trhu

Typ	Výkon	Rozměry	Účinnost	Materiál	Cena	Prodejce
Canadian Solar 240 Wp	240 Wp	1638x987x40	14,9%	polykrystal. křemík	4 900	[52]
REC PE 240	240 Wp	1665x991x38	15 %	polykrystal. křemík	5 500	[52]
Kyocera KD240GH-2PB poly	240 Wp	1662 x 990 x 46	14,5%	polykrystal. křemík	7 500	[52]
Samsung S-energy SM-245 PC8	245 Wp	1665 x 999 x 50 mm	14 %	polykrystal.křemík	7 700	[53]
CSUN CEEG SST235-60P	235 Wp	1640 x 990 x 50 mm	15,4 %	polykrystal.křemík	4 500	[54]
SCHOTT PERFORM MONO 250	250 Wp	1652 x 990 mm	15,3 %	monokr. křemík	5 700	[54]
SCHOTT PERFORM MONO 260 P-Modul	260 Wp	1365 x 990 x 35 mm	15,9 %	monokr. křemík	6200	[54]
YingliPanda YL 270C-30b Black&Black	270 Wp	1650 x 990 x 40 mm	17,1 %	monokr. křemík	5800	[55]
SHARP ND-R250A5	250 Wp	1652 x 994 x 46 mm	15,2 %	polykrystal.křemík	6 000	[56]
PANASONIC VBHN 240SE01	240 Wp	1580 x 798 x 35 mm	19%	monokr. a amorfní křemík	9 500	[56]
SUNPOWER SPR-327NE-WHT	327 Wp	1559x1046 x 46 mm	20,1%	-	12 000	[56]
FIRE ENERGY FE235P	235 Wp	1650 x 992 x 45 mm	14,4%	polykrystal. křemík	3 800	[56]
Suntech STP 255S – 20/Wd mono	255 Wp	1640 x 992 x 35 mm	15,7%	polykrystal. křemík	6 800	[56]
EGing Energy 245 Mono, 245W	245 Wp	1650 x 990 x 50 mm	15%	monokrystal. křemík	6 200	[56]
WSP-255P6 Winaico	255 Wp	1640 x 992 x 35mm	14,7%	monokrystal. křemík	5 800	[57]

6.6. Typ soustavy, návrh komponent a zapojení

Když byla zjištěna plocha fotovoltaického generátoru potřebná na pokrytí spotřeby, je možné zvolit typ soustavy, který má zabezpečit požadavky zadavatele projektu.

V rámci řešení projektu byly prozkoumány následující varianty:

- I. Hybridní systém komunikující se sítí – síťový hybridní systém
 - A. Se šesti panely
 - B. S osmi panely
 - C. S deseti panely

- II. Hybridní ostrovní systém
 - A. S čtyřmi panely
 - B. Se šesti panely
 - C. S osmi panely

- III. Síťový systém s využitím mikrostrídačů s baterií
 - A. Se dvěma panely
 - B. S čtyřmi panely

- IV. Síťový systém s využitím mikrostrídačů bez baterie
 - A. Se dvěma panely a dvěma inventory
 - B. Se čtyřmi panely a dvěma inventory

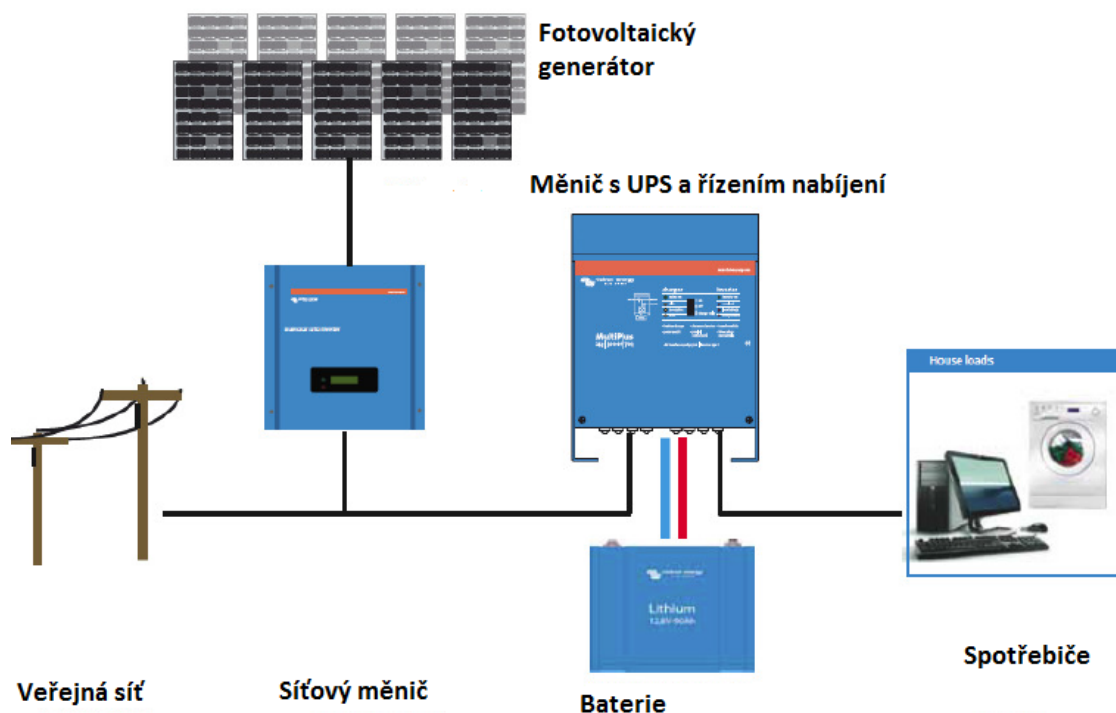
Uvedené ceny jsou orientační a byly stanoveny na základě nabídky internetových prodejců solární techniky [52,53,54,55,56,57].

6.6.1. I. Hybridní síťový systém

Hybridní síťový systém je elektrárna, která dokáže v případě nabitě baterie dodávat případné přebytky do sítě, v případě výpadku proudu dokáže pomocí zabudované UPS přepojit systém na spotřebu z baterie.

Problémem při aplikaci je v tomto případě fakt, že hybridní střídače, které tento režim bez problému zvládají, se běžně vyrábějí pro aplikace s výkonem nad 3 kWp. Firma Victron však nabízí řešení s použitím jejich multifunkčního střídače v kombinaci se střídačem síťovým. Nevýhodou takového řešení je však značné navýšení vstupní investice o pořizovací náklady druhého střídače.

Komponenty byly vybrány od výrobce Victron, který jako jediný výrobce umožňuje řešení maloplošného (do 2,5 kW) hybridního systému. V tabulce na následující stránce je naznačena volba prvků včetně pořizovacích nákladů, se kterými v dalších kapitolách pracuje ekonomická analýza.



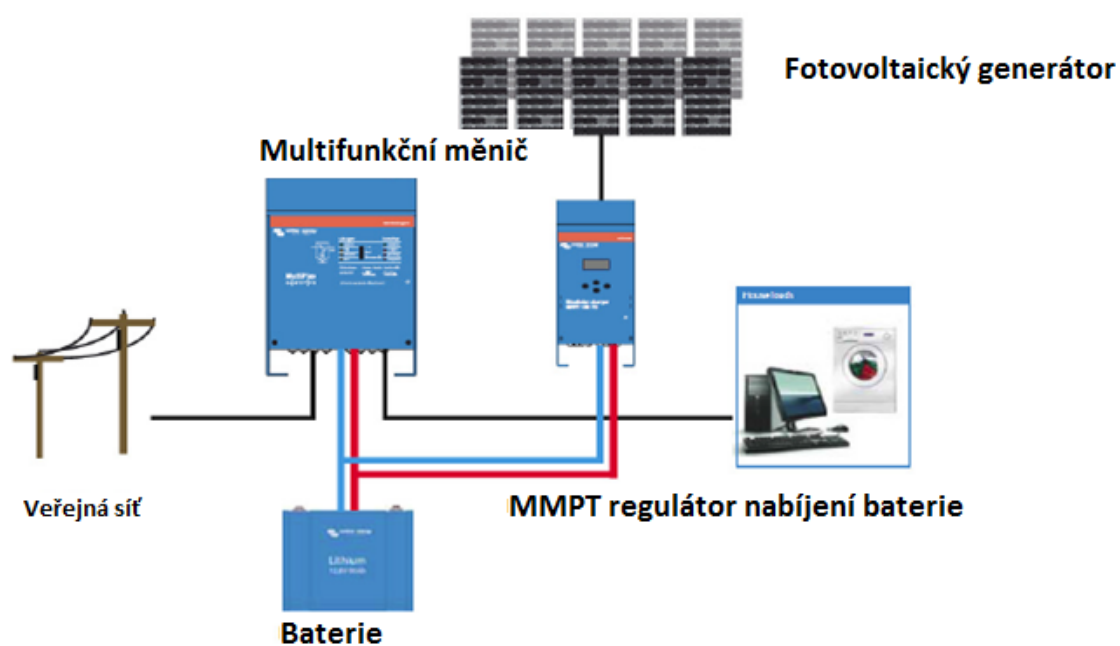
Obrázek 16 - hybridní síťový systém [58]

Tabulka 4 - návrh komponent řešení I.

A					
Zařízení	Solární panel	Měnič síťový	Měnič multifunkční	Baterie	
Výrobce	Yingli	Victron	Victron	Banner	
Typ	Panda 60 YL	Blue solargridinverter	Multiplus c 124V/1200VA/50A-16A	Energybull 95751 100Ah 12v	Instalace (Kč)
Výkon	6 x 270 Wp	1500 W	1200 W	100 Ah	10000
Počet ks	6	1	1	4	Celkové náklady (Kč)
Náklady (Kč s DPH)	42000	31631	27558	11288	122477
B					
Zařízení	Solární panel	Měnič síťový	Měnič multifunkční	Baterie	
Výrobce	Yingli	Victron	Victron	Banner	
Typ	Panda 60 YL	Blue solar grid inverter	Multiplus c 124V/1600VA/70A-16A	Energybull 95751 100Ah 12V	Instalace (Kč)
Výkon	8 x 270 Wp	1500 W	1600 W	100 Ah	10000
Počet ks	8	1	1	4	Celkové náklady (Kč)
Náklady (Kč s DPH)	56000	31631	32015	11288	140934
C					
Zařízení	Solární panel	Měnič síťový	Měnič multifunkční	Baterie	
Výrobce	Yingli	Victron	Victron	Banner	
Typ	Panda 60 YL	Blue solar grid inverter	Multiplus c 124V/2000VA/80A-30A	Energybull 95751 100Ah 12V	Instalace (Kč)
Výkon	10*270 Wp	2000 W	2000 W	100 Ah	10000
Počet ks	8	1	1	4	Celkové náklady (Kč)
Náklady (Kč s DPH)	70000	38337	40031	11288	169656

6.6.2. II. Hybridní ostrovní systém

Hybridní ostrovní systém je systém napojený na veřejnou síť, ale proud pouze odebírá. V popsaném nastavení solární systém nabíjí pomocí regulátoru nabíjení baterií a střídač odebírá proud pro spotřebiče podle stavu baterie ze sítě nebo z baterie. V tomto systému je možné snadno nastavit prioritu zálohování baterií nebo naopak odebírat z baterie a až v případě jejího vybití odebírat ze sítě.



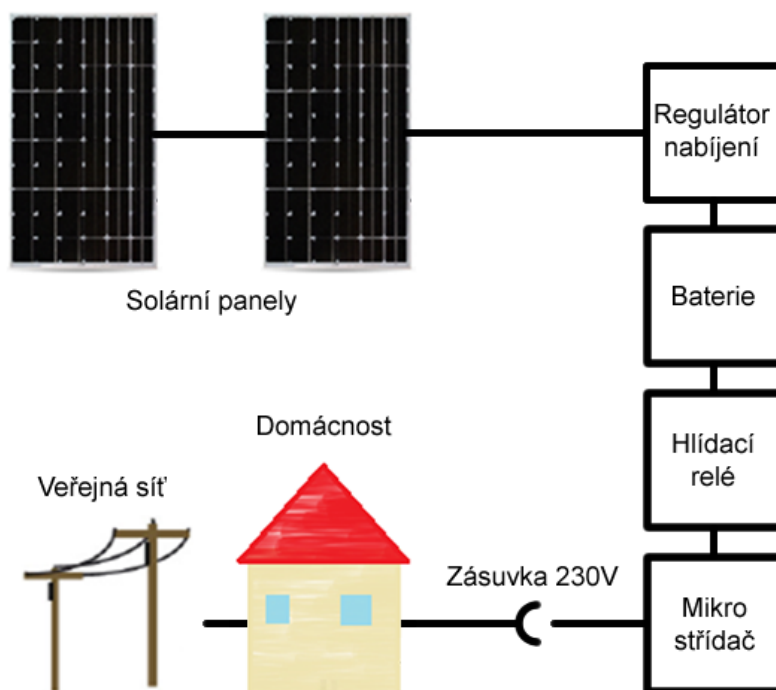
Obrázek 17 – hybridní ostrovní systém [58]

Tabulka 5 - návrh komponent řešení II.

A					
Zařízení	Solární panel	Regulátor nabíjení mppt	Měnič multifunkční	Baterie	
Výrobce	Yingli	Epsolar	Victron	Banner	
Typ	Panda 60 YL	Et6415 60a 12-48v lan	Multiplus c 24V/1200VA	Energybull 95751 100Ah 12V	Instalace (Kč)
Výkon	4 x 270 Wp		800 W	2x100 ah	10000
Počet ks	4	1	1	8	Celkové náklady (Kč)
Náklady (Kč s DPH)	28000	11900	27558	22576	100034
B					
Zařízení	Solární panel	Regulátor nabíjení mppt	Měnič multifunkční	Baterie	
Výrobce	Yingli	Tristar	Victron	Banner	
Typ	Panda 60 YL	Ts-mppt-45	Multiplus c 24V/1200VA	Energybull 95751 100Ah 12v	Instalace (Kč)
Výkon	6 x 270 Wp		1200 W	2x100 Ah	10000
Počet ks	6	1	1	8	Celkové náklady (Kč)
Náklady (Kč s DPH)	42000	16550	27558	22576	118684
C					
Zařízení	Solární panel	Regulátor nabíjení mppt	Měnič multifunkční	Baterie	
Výrobce	Yingli	Victron	Victron	Banner	
Typ	Panda 60 YL	Blue solar MPPT 150/70 s relé	Multiplus c 24V/2000VA	Energybull 95751 100 Ah 12v	Instalace (Kč)
Výkon	8 x 270 Wp		2000 W	100 Ah	10000
Počet ks	8	1	1	8	Celkové náklady (Kč)
Náklady (Kč s DPH)	56000	19820	40031	22576	148427

6.6.3. III. Systém s využitím mikrostrídačů

Mikrostrídač je nízkokapacitní síťový měnič, který lze zapojit rovnou do zásuvky rozvodné sítě a tak šetřit odebíranou energií. Podmínkou funkce tohoto zařízení je, že dodávka nesmí být vyšší než okamžitá spotřeba, je třeba tedy systém s mikrostrídačem poddimenzovat.



Obrázek 18 - systém s mikroinvertory III.

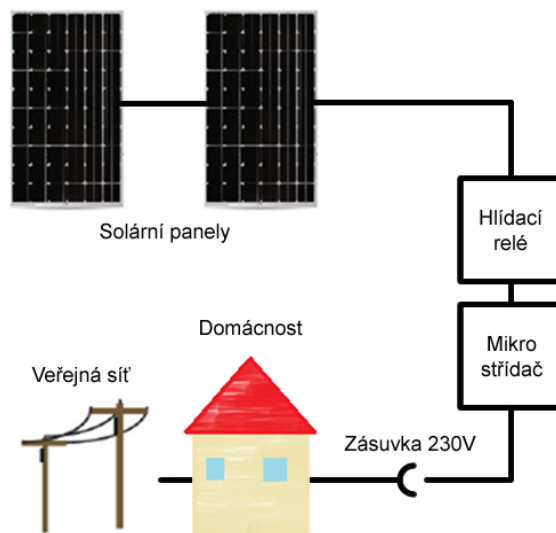
Tabulka 6 - návrh komponent systému III.

A						
Zařízení	Solární panel	Regulátor nabíjení	Baterie	Hlídací relé	Mikrostřídač	
Značka	Yingli	Epsolar	Banner		Gridfree	
Typ	Panda 60 YL	Et4415	Solar	Pri-32 20A	Gridfree 230W	Instalace (Kč)
Výkon	2 x 270 Wp		2x60Ah			3000
Počet ks	2	1	8	1	1	Celkové náklady (Kč)
Cena celkem	14000	7190	22160	1290	3595	51235

B						
Zařízení	Solární panel	Regulátor nabíjení	Baterie	Hlídací relé	Mikrostřídač	
Značka	Yingli	Epsolar	Banner		Gridfree	
Typ	Panda 60 yl	Et4415	Solar	Pri-32 20a	Gridfree 230w	Instalace (Kč)
Výkon	4 x 270 wp		4x60ah			3000
Počet ks	4	2	16	2	2	Celkové náklady (Kč)
Cena celkem	28000	14380	44320	2580	7190	99470

6.6.4. IV. Systém s využitím mikrostrídačů bez baterií

Tento systém musí být dimenzován tak, aby v každém případě byl získaný výkon nižší než výkon spotřebičů, jsou vynechány baterie tvořící podstatný podíl nákladů na systém. Navržený systém tedy počítá v každém případě s maximálním výkonem rovnajícím se výkonu střídače, tedy asi 240 W. V druhé variantě se počítá se dvěma panely v sérii zapojenými do jednoho střídače, to je optimální varianta pro zimní provoz, kdy je výkon zařízení o mnoho nižší než za standartních měřících podmínek a tudíž panely zdaleka nedosáhnou svého maximálního výkonu. Hlídací relé zapojené v soustavě pak plní funkci ochrany střídače proti přetížení.



Obrázek 19 - systém s mikroinvertory IV.

Tabulka 7 - návrh komponent systému IV

IV A				
Zařízení	Solární panel	Hlídací relé	Mikrostrídač	
Značka	Yingli		Gridfree	
Typ	Panda 60 YL	Pri-32	Gridfree 230 W	Instalace
Výkon	4 x 270 Wp			0
Počet ks	2	2	2	Celkové náklady
Cena celkem	14000	2580	7190	23770

IV B				
Zařízení	Solární panel	Hlídací relé	Mikrostrídač	
Značka	Yingli		Gridfree	
Typ	Panda 60 YL	Pri-32	Gridfree 230 W	Instalace
Výkon	4 x 270 Wp			0
Počet ks	4	1	2	Celkové náklady
Cena celkem	28000	2580	7190	37770

6.7. Ekonomické zhodnocení jednotlivých variant

Pro ekonomickou analýzu systému byla použita data naměřená v roce 2012 a 2013 elektroměrem tepelného systému a meteorologickou stanicí. Kromě spotřeby solárního tepelného systému byla měřena i nejnižší celková pasivní spotřeba celého domu, která činila 5,6 kWh/den, z toho až 2,8 kWh v době slunečního svitu. Pasivní spotřeba domu je v jednotlivých řešeních také pokryta solárním systémem.

Tento způsob provozu je nejvýhodnější vycházíme-li z úvahy, že výhodnější je vyrobenou energii spotřebovat a ušetřit tak 4,5 Kč [59] za kWh, případně u systému obousměrně komunikujícího se sítí s využitím tzv. Zeleného bonusu i více než 7 Kč za kWh, další možností je u systému s možností dodávky do sítě prodej energie do veřejné sítě, avšak státem garantovaná cena energie je pouze 2,9 [59] Kč za kWh. Další možností je spotřebovat přebytečnou energii do akumulace tepla v tepelné soustavě, avšak tato varianta je ekonomicky přípustná pouze ve chvíli, kdy přebytečnou energii není kde spotřebovat – v porovnání s plynem je výroba tepla z elektřiny krajně nevýhodná v situaci, kdy 1 kW energie ve formě zemního plynu stojí na českém trhu kolem 1 Kč [59].

V následujících odstavcích je shrnut způsob výpočtu ekonomické návratnosti jednotlivých variant.

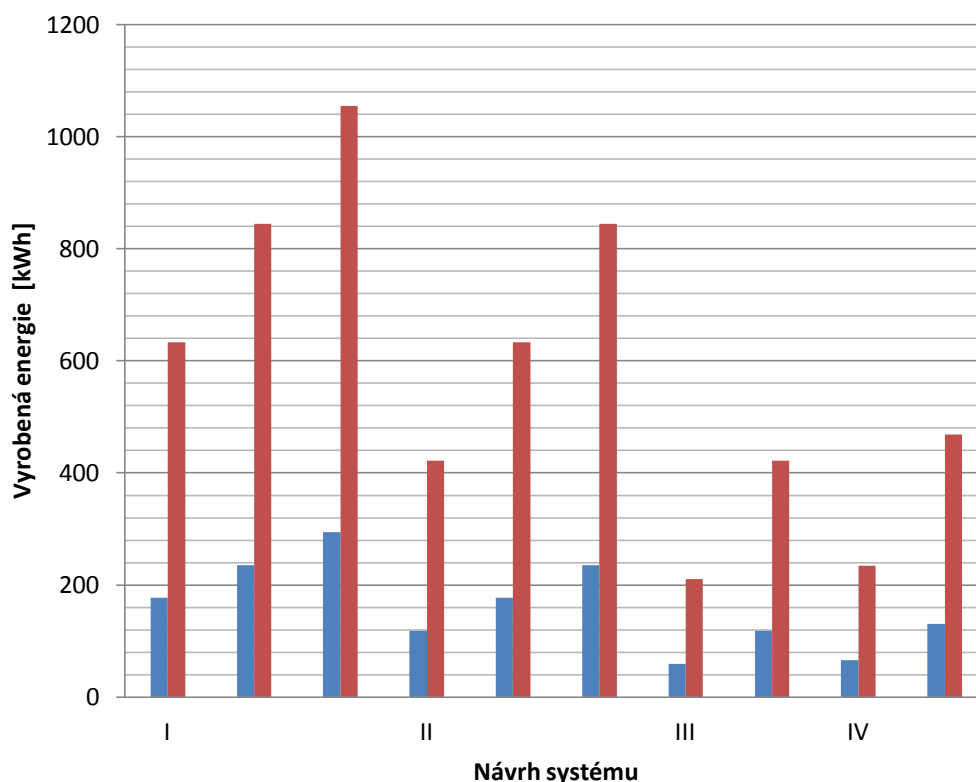
6.7.1. Krok 1. Výpočet množství energie dodané systémem

Při výpočtu energetického zisku v zimě E_Z a E_L v létě vycházím z průměrného denního příkonu záření na plochu v zimních měsících G_Z a letních měsících G_L , které byly zjištěny z hodnot naměřených meteorologickou stanicí, dalšími vstupními údaji jsou minimální účinnost η_G solárního generátoru udávaná výrobcem panelu a účinnost měniče η_M a okruhu nabíjení baterií η_B . Účinnost měniče je obvykle udávána výrobcem a pohybuje se kolem 90%, účinnost nabíjení baterií se liší podle typu systému a funkce baterie v něm, protože baterie má v navržených systémech spíše funkci zálohy počítala jsem s desetiprocentní ztrátou. Abych získala hodnotu energetického zisku pro celou sezonu, vynásobila jsem získaný denní zisk počtem dní v uvažované sezoně. Nakonec je vše vynásobeno počtem instalovaných panelů n_p , počtem článků v jednom panelu n_ξ a plochou solárních článků A_ξ .

$$E_Z = G_Z \cdot \eta_G \cdot \eta_M \cdot \eta_B \cdot \frac{365}{2} \cdot n_p \cdot n_\xi \cdot A_\xi \quad (3)$$

$$E_L = G_L \cdot \eta_G \cdot \eta_M \cdot \eta_B \cdot \frac{365}{2} \cdot n_p \cdot n_\xi \cdot A_\xi \quad (4)$$

Výsledky výpočtu jsou shrnuty v grafu č. 2.



Graf 2 – roční energetický zisk jednotlivých řešení

Z grafu je patrné, že kdyby byl systém napojen pouze na tepelnou soustavu, produkoval by v každém případě velké přebytky v letním období. Nabízí se několik řešení – pokrýt přebytky pasivní spotřebu domu, tedy spotřebiče, které pracují nepřetržitě celý rok nebo přebytky akumulovat ve formě tepla a využívat je tepelnou solární soustavou. Prodej energie do sítě nelze doporučit, protože státem garantovaná výkupní cena energie (2,99 Kč/ kW[60]) je nižší než cena energie, kterou dům odbírá ze sítě (4,5 Kč/kW).

6.7.2. Krok 2. Výpočet ročního finančního zisku, úspory a návratnosti

Pro výpočet finančního zisku je vstupním parametrem průměrná hodnota vyrobené energie za jednotlivá období E_Z a E_L , dalším údajem jsou ceny elektrické energie z centrální sítě a ceny plynu, kterou jsem stanovila na základě srovnání cen uvedeného na portálu [www.enrgy.cz](#), který uvádí aktuální průměrnou cenu elektrické energie 4,3 Kč/kWh a cenu plynu 1 Kč/kWh. Dalšími potřebnými výdaji byla výše zeleného bonusu pro systémy připojené v druhém pololetí roku 2013 dle cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 4/2012, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie; který pro zdroje uvedené do provozu od 1.7.2013 do 31.12.2013 zelené bonusy ve výši 2440 Kč/MWh a výkupní ceny ve výši 2990 Kč/MWh.

Dle údajů zjištěných měření v roce 2012 je minimální spotřeba energie v průběhu dne 5,6 kWh/den. Z toho je možné brát v úvahu až polovinu jako spotřebu během

dne(E_{sp}),. V této hodnotě je započítána i spotřeba tepelné soustavy, která činí v průměru asi 777 Wh denně.

Jako formu státní podpory jsem pro tento systém zvolila formu zeleného bonusu, protože většinu spotřebované energie je možno spotřebovat do akumulace tepla v soustavě pro ohřev TUV.

Při výpočtu ekonomické návratnosti je nejdříve nutno zjistit, kolik z vyrobené energie se skutečně v domě vyrobí a spotřebuje, tedy uspoří. Tato energie uspoří 4,3 Kč/kW a případně zelený bonus. Zbylá energie bude přebytkem, který se využije k akumulaci tepla a tím ušetří 1 Kč/kWh.

Výpočet sezónní spotřeby elektrické energie:

$$E_{sp,L} = E_{sp,Z} = E_{sp} \cdot \frac{365}{2} \quad (5)$$

Výpočet uspořené energie:

$$\text{Když : } E_{sp,L} < E_L, \text{ pak } E_{u,L} = E_{sp,L} \quad (6)$$

$$\text{Když : } E_{sp,L} > E_L, \text{ pak } E_{u,L} = E_L \quad (7)$$

Stejný postup se použije u výpočtu úspory v zimě.

Výpočet přebytku:

$$\text{Když : } E_{sp,L} < E_L, \text{ pak } E_{pL} = E_L - E_{sp,L} \quad (8)$$

$$\text{Když : } E_{sp,L} > E_L, \text{ pak } E_{pL} = 0 \quad (9)$$

Opět totéž platí pro zimní období.

Zisk z úspor:

$$Z_{u,L} = E_{u,L} \cdot (\text{cenadodávané energie} + \text{zelený bonus}) \quad (10)$$

U zisku v zimě se postupuje stejně. Zelený bonus se nezapočítá v případě systému, který nemůže dodávat energii do sítě.

Zisk z přebytků:

$$Z_{p,L} = E_{p,L} \cdot (\text{cena tepelné energie} + \text{zelený bonus}) \quad (11)$$

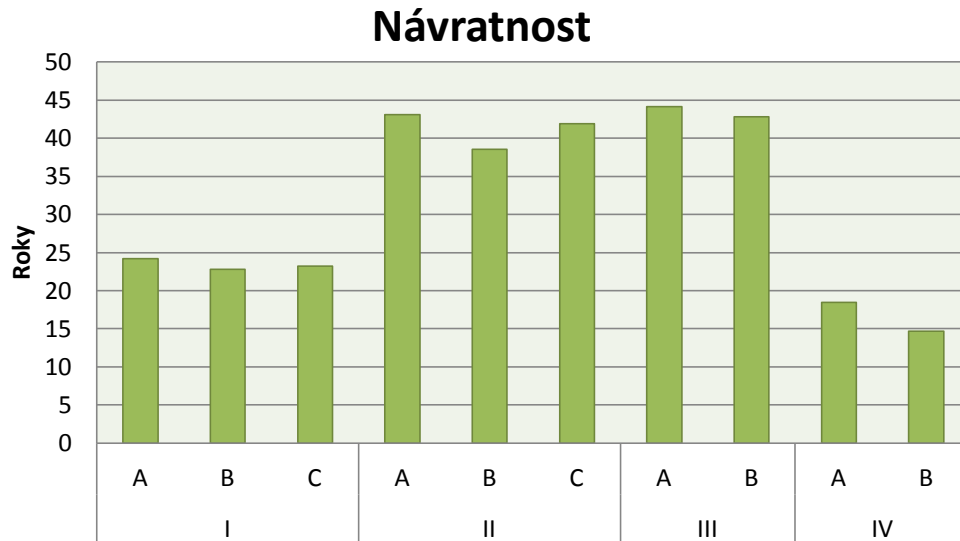
Cenou tepelné energie je v našem případě cena plynu.
Výsledný roční zisk se pak rovná součtu letních a zimních zisků:

$$Z = Z_{u,L} + Z_{u,Z} + Z_{p,L} + Z_{p,Z} \quad (12)$$

Návratnost se pak získá jako podíl nákladů na pořízení systému a ročního zisku:

$$\text{Návratnost} = \frac{\text{cena soustavy}}{Z} \quad (13)$$

Výsledky ekonomické analýzy jsou včetně všech výpočtů jsou umístěny v elektronické formě ve formátu .xls v příloze č.1. Příložený soubor může sloužit jako univerzální kalkulačka pro zjištění ekonomické návratnosti jakéhokoli fotovoltaického systému.



Graf 3 - návratnost jednotlivých variant

7. NAVRŽENÉ ŘEŠENÍ A JEHO DISKUSE

Pokrytí spotřeby energie termické solární soustavy elektrickou energií ze slunce se jeví jako výhodné řešení. K tomuto závěru vede úvaha potvrzená pozorováním, že solární tepelný systém v průběhu topného období vykazuje vyšší spotřebu ve dnech s vyšším solárním příkonem. Dalším argumentem pro fotovoltaické systémy je i jejich ekologická udržitelnost popsaná výše v analýze životního cyklu.

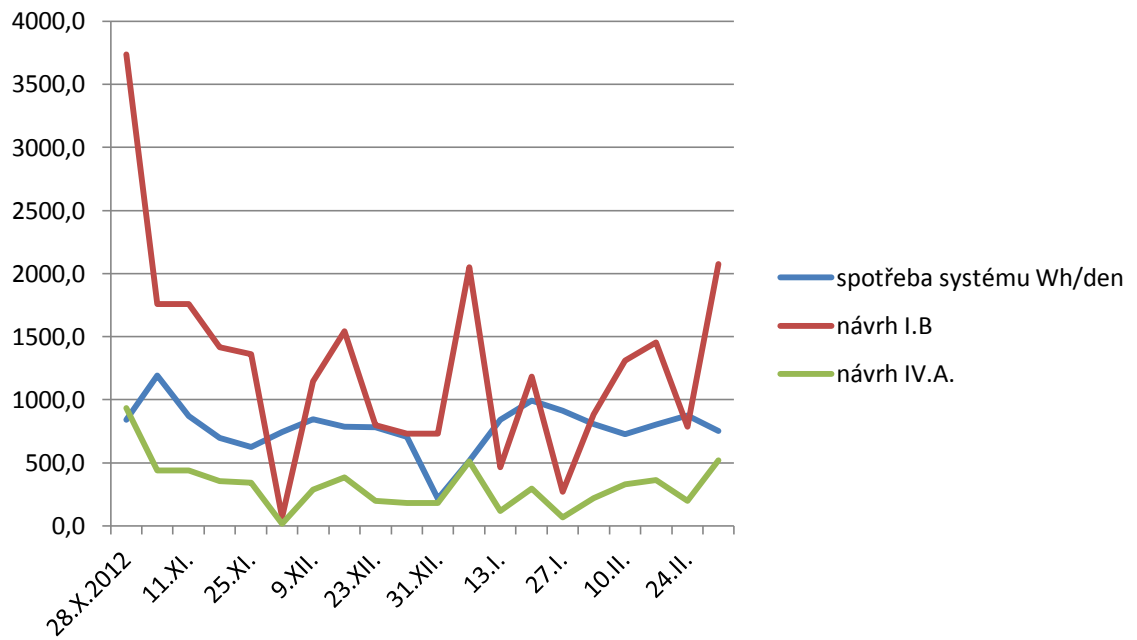
Na základě analýzy trhu byl doporučen monokrystalický solární generátor Yingli Panda 270 Wp a to pro jeho nejnižší cenu za Wp u monokrystalických panelů a nejvyšší výkon. Monokrystalický křemík byl vybrán pro větší stabilitu jeho výkonu v čase. Níže navržená řešení je možno realizovat i s polykrystalickými panely a využít tak nižší ceny a lepší environmentální charakteristiku (jak vyplývá ze zhodnocení environmentálních faktorů). Z analýzy trhu rovněž vycházejí návrhy systémů, které byly podrobeny dalšímu zkoumání. Na základě zjištění, že trh neposkytuje mnoho možností (zejména omezený výběr síťových střídačů) pro připojení malého systému na síť byla navržena i řešení s výkonem až 2700 Wp. Zvolená řešení jsem podrobila ekonomické analýze, která přinesla následující výsledky.

Jako optimální variantu doporučuji investorovi řešení IV. A – řešení se dvěma panely a dvěma GridFree střídači. Toto řešení vykazuje dobrou ekonomickou návratnost, která se pohybuje v horizontu 18 let. Je jednoduché, robustní, nepotřebuje složitou instalaci. V případě, že se řešení osvědčí a bude jistota stálého budoucího odběru elektrické energie, je možné tento systém rozšířit o další dva panely na řešení IV.B., které poskytuje dokonce o něco lepší návratnost a lepší pokrytí spotřeby energie systému pro vytápění. Jednoduchost tohoto řešení slibuje menší ekologickou stopu a snadnější řešení poruchy některé z komponent. Nevýhodou tohoto řešení je, že nezahrnuje zálohování energie v případě výpadku proudu.

Požadavek zálohování může být zabezpečen například systémem I.B, který by umožnil plynulé přepnutí na záložní baterii, která kromě toho může s regulátorem nabíjení sloužit i jako úložiště energie pro pozdější spotřebu. Tento systém umožňuje plné pokrytí potřeby termického systému a několika dalších spotřebičů v rámci pasivní spotřeby domu. Umožňuje i jednoduché přenastavení do ostrovního režimu, což majiteli poskytuje záruku, že se může od veřejné sítě odpojit, kdykoli uzná, že je to pro něj výhodné. Systém I.B má ekonomickou návratnost 23 let, která je na hranici životnosti systému. Dalším argumentem proti systému je, že návratnost je uvažována pouze za předpokladu čerpání zeleného bonusu, které zahrnuje komplikace spojené se získáním licence na provozování zdroje. Rovněž vysoké investiční náklady odrazují od využití tohoto systému. Vyšší počet prvků také nezřídka znamená vyšší pravděpodobnost poruchy, složitější obsluhu a horší ekologickou návratnost.

Řešení II. a III. nelze doporučit pro jejich ekonomickou nevýhodnost, která se projevuje především ve vysokých nákladech na pořízení a provoz většího počtu akumulátorů. Ukazuje se, že cena střídače není pro návratnost systému tak stěžejní jako cena akumulátorů, navíc zatímco akumulátor lze vypustit, střídač a panely jsou stěžejními prvky soustavy. Z tohoto důvodu se vyplatí přebytkům energie v letním období primárně předcházet poddimenzováním soustavy jako ve variantě IV, nebo je ukládat ve formě tepla do akumulace tepelné soustavy, snížit spotřebu energie na dohřev teplé vody a zároveň inkasovat zelený bonus.

Na závěr je předloženo srovnání výkonu systémů I.B a IV.A v zimním období s vnitřní spotřebou tepelného systému, které dokresluje situaci popsanou předchozím odstavcem.



Graf 4 - pokrytí spotřeby tepelného systému doporučenými variantami v zimním období

8. ZÁVĚR

Tato práce se zabývala optimalizací vnitřní spotřeby energie konkrétního systému pro vytápění a ohřev teplé užitkové vody. V teoretické části byla provedena rešerše problematiky solárních systémů.

Jako řešení spotřeby elektrické energie byl na základě rozboru dat o spotřebě tepelného systému navržen solární fotovoltaický systém s dodávkou přebytků energie do akumulace předmětné termické soustavy jako environmentálně udržitelný zdroj energie. Byla dimenzována plocha fotovoltaických modulů potřebná pro pokrytí spotřeby systému.

Při výběru komponent a návrhu uspořádání systému byl úspěšně řešen problém nedostatku multifunkčních síťových střídačů s výkonem pod 3 kW na trhu, a to zapojením multifunkčního a síťového střídače dle bílých stránek společnosti Victron. Bylo navrženo 10 variant soustav čtyř základních typů – systém se dvěma střídači a dodávkou a odběrem ze sítě (I), systém se zálohováním a odběrem ze sítě (II), systém s mikrostrídači a baterií (III) a systém s mikrostrídači bez baterií (IV).

Po provedení ekonomické analýzy byly vyloučeny varianty II. a III. Z důvodu velkých nákladů na baterie a celkové nerentability. Zadavateli projektu byla doporučena varianta IV s možností rozšíření k pokrytí spotřeby dalších spotřebičů s celodenním provozem. Varianta I. byla ponechána ke zvážení, protože poskytuje majiteli jisté výhody ve formě energetické nezávislosti a její ekonomická návratnost je v rámci životnosti panelů možná. Avšak její zprovoznění by mohly provázet komplikace s připojením k síti a získáním licence. Rovněž pořizovací cena řešení I. je několikanásobně vyšší než u varianty IV.

Jedním z výstupů této diplomové práce je univerzální pomůcka vytvořená s pomocí logických funkcí v aplikaci MS Excel sloužící pro ekonomickou analýzu fotovoltaického systému. Pomůcka je k dispozici jako elektronická příloha diplomové práce.

SEZNAM TABULEK

TABULKA 1 - STUDIE ŽIVOTNÍHO CYKLU MONOKRYSTALICKÝCH A POLYKRYSTALICKÝCH PANELŮ	32
TABULKA 2 - DIMENZOVÁNÍ	33
TABULKA 3 - PŘEHLED VYBRANÝCH SOLÁRNÍCH PANELŮ NA TRHU	35
TABULKA 4 - NÁVRH KOMPONENT ŘEŠENÍ I.	38
TABULKA 5 - NÁVRH KOMPONENT ŘEŠENÍ II.	40
TABULKA 6 - NÁVRH KOMPONENT SYSTÉMU III.	42
TABULKA 7 - NÁVRH KOMPONENT SYSTÉMU IV	43

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 1- ROČNÍ PRŮMĚRY PŘÍKONU ZÁŘENÍ NA PLOCHU [2]	8
OBRÁZEK 2 - SOLÁRNÍ ARCHITEKTURA V MORAVSKÉ ZEMSKÉ KNIHOVNĚ [7]	9
OBRÁZEK 3 - SOUSTAVA PRO OHŘEV BAZÉNU [10]	10
OBRÁZEK 4 - SYSTÉMY PRO PŘÍPRAVU TEPLÉ VODY S PŘEDEHŘÍVACÍM (VLEVO) A BIVALENTNÍM (VPRAVO) ZÁSOBNÍKEM [11]	10
OBRÁZEK 5 - SOUSTAVA PRO VYTÁPĚNÍ A OHŘEV TEPLÉ VODY [12]	11
OBRÁZEK 6 - SOLÁRNÍ KOLEKTOR [15]	12
OBRÁZEK 7 - TEPELNÝ ZÁSOBNÍK [16]	14
OBRÁZEK 8 - OBĚHOVÉ ČERPADLO [19]	15
OBRÁZEK 9 - ALEXANDRE EDMOND BECQUEREL [23]	18
OBRÁZEK 10 - FOTOVOLTAICKÝ ČLÁNEK [30]	19
OBRÁZEK 11 – MONOKRYSTALICKÝ PANEL [32]	20
OBRÁZEK 12 - OSTROVNÍ FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM [33]	22
OBRÁZEK 13 – ZPŮSOBY UMÍSTĚNÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ NA BUDOVÁCH:	23
OBRÁZEK 14 - KOMBINOVANÝ SOLÁRNÍ SYSTÉM [34]	26
OBRÁZEK 15 - TEPELNÁ SOUSTAVA VRACOV	29
OBRÁZEK 16 - HYBRIDNÍ SÍŤOVÝ SYSTÉM [58]	37
OBRÁZEK 17 – HYBRIDNÍ OSTROVNÍ SYSTÉM [58]	39
OBRÁZEK 18 - SYSTÉM S MIKROINVERTORY III.	41
OBRÁZEK 19 - SYSTÉM S MIKROINVERTORY IV.	43

SEZNAM GRAFŮ

GRAF 1 – PŘÍKON ZÁŘENÍ A SPOTŘEBA ZÁŘENÍ	34
GRAF 2 – ROČNÍ ENERGETICKÝ ZISK JEDNOTLIVÝCH ŘEŠENÍ	45
GRAF 3 - NÁVRATNOST JEDNOTLIVÝCH VARIANT	47
GRAF 4 - POKRYTÍ SPOTŘEBY TEPELNÉHO SYSTÉMU DOPORUČENÝMI VARIANTAMI V ZIMNÍM OBDOBÍ	49

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ZHANG, Xingxing, Xudong ZHAO, Stefan SMITH, Jihuan XU a Xiaotong YU. Review of R. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012, roč. 16, č. 1, s. 599-617. ISSN 13640321. DOI: 10.1016/j.rser.2011.08.026. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/52ating52er/pii/S1364032111004369>
- [2] SolarGis: Global horizontal irradiation. GEOMODEL SOLAR S.R.O. *SolarGis* [online]. 2011 [cit. 2012-10-24]. Dostupné z: http://solargis.info/doc/_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-Czech-Republic-en.png
- [3] L MATUŠKA, Tomáš. *Solární tepelné soustavy*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2009, 194 s. Sešit projektanta – pracovní podklady (Společnost pro techniku prostředí). ISBN 978-80-02-02186-5
- [4] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Solární energie: fotovoltaika – perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti*. 2. Dopln. Vyd. V Praze: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2006, 149 s. ISBN 80-213-1488-5.
- [5] ŠEVČÍKOVÁ, Lenka, Sylva KLÍMOVÁ a Danuše ČUPROVÁ. Pasivní solární energie – nové trendy. *TZB-info* [online]. 2003 [cit. 2012-10-24]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1705-pasivni-solarni-energie-nove-trendy>
- [6] JAROŠ, Michal. Využití solární energie pro energetické úspory při větrání a teplovzdušném přitápění budov: Exploitation of solar energy for energy savings in ventilation and warm-air heating of buildings. Brno: VUTIUM, 2009. 39 s. ISBN 978-80-214-3953-5.
- [7] O budově. MORAVSKÁ ZEMSKÁ KNIHOVNA. *Moravská zemská knihovna* [online]. 2012 [cit. 2012-10-24]. Dostupné z: <http://www.mzk.cz/o-knihovne/dulezite-informace/o-budove>
- [8] MURTINGER, Karel a Jan TRUXA. *Solární energie pro váš dům*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2010, 107 s. Stavíme. ISBN 978-80-251-3241-8.
- [9] REMMERS, Karl-Heinz. *Velká solární zařízení: úvod k navrhování a provozu*. 1. vyd. Brno: ERA group, 2007, 315 s. ISBN 978-80-7366-110-6
- [10] MATUŠKA, Tomáš. Solární ohřev bazénové vody. In: *TZB-info* [online]. 2012 [cit. 2012-10-24]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/solarni-ohrev-bazenove-vody>
- [11] MATUŠKA, Tomáš. Solární příprava teplé vody. In: *TZB-info* [online]. 2012 [cit. 2012-10-24]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/solarni-priprava-teple-vody>
- [12] MATUŠKA, Tomáš. Solární vytápění. In: *TZB-info* [online]. 2012 [cit. 2012-10-24]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/solarni-priprava-teple-vody>
- [13] FILLEUX, Charles. *Solární teplovzdušné vytápění: koncepce, technika, projektování*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2006, 175 s. ISBN 80-861-6728-3.
- [14] LADENER, Heinz. *Solární zařízení*. 1. vyd. Praha: Grada, 2003, 267 s. ISBN 80-247-0362-9.
- [15] Technický list ke kolektorům výrobce Thermosolar dostupný na <http://www.solartop.cz/helio.pdf> [cit. 2013-3-1]
- [16] Zásobní nádrže. MEGA-SUNSHINE. MegaSunshine - solární ohřev vody a vytápění [online]. 2012 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://shop.mega-sunshine.cz/solar/eshop/20-1-Zasobni-nadrze/45-2-Solarni-zasobniky/5/377-Solarni-zasobnik-300-l-s-dvema-vymeniky>
- [17] JANALÍK, Jaroslav. *Hydrodynamika a hydrodynamické stroje*. Ostrava: Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, katedra hydromechaniky

- a hydraulických zařízení, 2008
- [18] PARKER, G.J. A ForcedCirculationSystemfor a Solar WaterHeating. *Solar energy*, 1976, č. 18.
- [19] Oběhové čerpadlo WILO. Tzbtherm [online]. 2013 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.tzbtherm.cz/cz/e-shop/623862/c36305-obehova-cerpadla/obehove-cerpadlo-wilo-rs-25-2f4-180.html>
- [20] KRIEG, Bernhard. *Elektrina ze Slunce: fotovoltaika v teorii a praxi*. 1. vyd. Ostrava: HEL, 1993, 223 s.
- [21] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010, 296 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [22] ŠIMONÍK, Pavel. *Autonomnost solárních systémů*. Zlín, 2010. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky. Vedoucí práce doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
- [23] Alexandre Edmond Becquerel. Wikipedia [online]. 2008 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Alexandre_Edmond_Becquerel,_by_Pierre_Petit.jpg
- [24] MACKŮ, Robert. *Analýza flukтуаčních procesů v solárních článcích*. Brno, 2012. ISBN 978-80-214-4523-9. Zkrácená verze Ph.D thesis. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Pavel Koktavý.
- [25] BOUŠEK, Jaroslav. Fotovoltaické články ve 21. století: výzva pro rozvoj elektrotechnologie = Photovoltaiccells in 21th century : a challengeforelectrotechnology : teze přednášky k profesorskému jmenovacímu řízení v oboru Elektrotechnická a elektronická technologie. Brno: VUTIUM, 2009. 37 s. ISBN 978-80-214-3904-7.
- [26] HASELHUHN, Ralf. Fotovoltaika: Budovy jako zdroj proudu. 1. české vydání. Ostrava - Plesná: HEL, 2010. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [27] HERSHEL, Jude. A twoelectronplatinumreagent. In: BRIAN J. THOMPSON, Brian J.editor. *Energy, simulation-training, oceanengineering, and instrumentation: researchpapersofthe Link Foundationfellows*. Rochester, N.Y:Published by the University of Rochester Press in associationwiththe Link Foundation, 2001. ISBN 1-58046-124-7.
- [28] SOMANI, Prakash R., Savita P. SOMANI a M. UMENO. Applicationof metal nanoparticlesdecoratedcarbonnanotubes in photovoltaics. *AppliedPhysicsLetters*. 2008, roč. 93, č. 3, s. 033315-. ISSN 00036951. DOI: 10.1063/1.2963470. Dostupné z: <http://link.aip.org/link/APPLAB/v93/i3/p033315/s1>
- [29] Nanotechnologie: kurz zajišťuje Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Centrum nanotechnologií. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010, 98 s. ISBN 978-80-7204-713-0.
- [30] Solartec -fotovoltaika. Solartec [online]. 2013 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://test.solartec.cz/cs/fv-systemy/o-fotovoltaice/fotovoltaika.html>
- [31] STANĚK, Kamil. *Efektivní účinnost FV systémů pro budovy*. 2007. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2007/pdf/Sekce_1.4/Stanek_Kamil_CL.pdf, [cit. 2013-3-1]
- [32] Yingli Solar. Greentechmedia [online]. 2012 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://solar-panels.greentechmedia.com/l/410/Yingli-Solar-YL270c-30b>
- [33] Ostrovní fotovoltaické systémy. Enerfinplus [online]. 2013 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.enerfinplus.cz/ostrovní-systemy.html>
- [34] PARKER, G. J. A forcedcirculationsystemforsolarwaterheating. *Solar Energy*. 1976, č. 18.
- [35] GEVORKIAN, Peter. *Alternativeenergysystems in building design*. New York: McGraw-

- Hill, c2010, xix, 522 p. McGraw-Hill'sGreenSourceseries. ISBN 00-716-2147-4
- [36] Zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. In: Sbírka zákonů. 2012, částka 59.
- [37] TYAGI, V.V., S.C. KAUSHIK a S.K. TYAGI. Advancement in solarphotovoltaic/thermal (PV/T) hybrid collectortechnology.*Renewable and SustainableEnergyReviews*. 2012, roč. 16, č. 3, s. 1383-1398. ISSN 13640321. DOI: 10.1016/j.rser.2011.12.013.
- [38] HOSOVÁ, T. Vliv malých domácích spotřebičů na ekonomiku solárních systémů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2011. 36 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Josef Kotlík, CSc..
- [39] PRIDO, R. WaterPumpingSystemUsing Solar PowerfromPhotovoltaic Source. In: *Proceedingsofthe 1st E. C. Photovoltaic Solar EnergyConference*. Luxembourg, 1977, s. 1221-1228.
- [40] ROGER, J.A.Calculations and In SituExperimental Data on a WaterPumpingSystemDirectlyConnected to a 1/2 kW PhotovoltaicConverterArray. In: *Proceedingsofthe 1st E. C. Photovoltaic Solar EnergyConference*. Luxembourg, 1977, 1211-1220.
- [41] ROGER, J.A.WaterPumpingSystemUsing Solar PowerfromPhotovoltaic Source,“. In: *Proceedingsofthe 1st E. C. Photovoltaic Solar EnergyConference*. Luxembourg, 1977, 1211-1220.
- [42] LEGUERRE, J.R. a M. LASCAUD, "An Analytical approach of a Photovoltaic Water Purping System," *3rd E. C. Photovoltaic Solar Energy Conference*, Cannes 27-31, October, 1980
- [43] HSIAO, Y.R. a BLEVINS, B.A"Direct CouplingofPhotovoltaicPower Source to WaterPumpingSystem,“. *Solar energy*. 1984, č. 32.
- [44] FIRATOGLU, Z.Abidin a Bulent YESILATA. New approaches on theoptimizationofdirectlycoupled PV pumpingsystems. *Solar Energy*. 2004, roč. 77, č. 1, s. 81-93. ISSN 0038092x. DOI: 10.1016/j.solener.2004.02.006. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X04000465>
- [45] ANIS W. R., et. al., "Couplingof a Volumetric Pump to a PhotovoltaicArray," *Solar Cells*, 1985, č. 14,
- [46] BAI, Y., G. FRAISSE, F. WURTZ, A. FOGGIA, Y. DELESS a F. DOMAIN. Experimental and numerical study of a directly PV-assisteddomestic hot watersystem. *Solar Energy*. 2011, roč. 85, č. 9, s. 1979-1991. ISSN 0038092x. DOI: 10.1016/j.solener.2011.05.007. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X11001769>
- [47] GRASSIE, T. et al Design of a PV drivenlowflowsolardomestic hot watersystem and modeling ofthesystemcollectoroutlettemperature. *EnergyConversion and Management*. 2002, č. 43.
- [48] GHONEIM, Adel A. et al Economicanalysisofphotovoltaic-poweredsolardomestic hot watersystems in Kuwait. *RenewableEnergy*. 2002, č. 25
- [49] SHERWANI, A.F., J.A. USMANI a VARUN. Lifecycleassessmentofsolar PV basedelectricitygenerationsystems: A review.*Renewable and SustainableEnergyReviews*. roč. 14, č. 1, s. 540-544. ISSN 13640321. DOI: 10.1016/j.rser.2009.08.003. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032109001907>
- [50] Vyhláška č.425/2004, kterou se vydávají podrobnosti náležitostí energetického auditu. In: Sbírka zákonů. 2004
- [51] MUNEEER, T, S YOUNES, N LAMBERT a J KUBIE. Lifecycleassessmentof a medium-sizedphotovoltaicfacilityat a highlatitudelocation. *ProceedingsoftheInstitutionofMechanicalEngineers*, Part A:

- Journal of Power and Energy. roč. 220, č. 6, s. 517-524. ISSN 0957-6509. DOI: 10.1243/09576509JPE253. Dostupné z: <http://pia.sagepub.com/lookup/doi/10.1243/09576509JPE253>
- [52] Solar shop. Obchodsolar [online]. 2013 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.obchodsolar.cz>
- [53] Fotovoltaické elektrárny a solární panely. Fotovoltaické elektrárny a solární panely [online]. 2013 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://solarni-panely.cz/>
- [54] NWT Solar [online]. 2013 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.nwtsolar.cz/>
- [55] Shop.solarpartner.cz [online]. 2013 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://shop.solarpartner.cz/>
- [56] Eshop.terms.eu [online]. 2013 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: eshop.terms.eu
- [57] Solareconomic s.r.o. [online]. 2013 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.solareconomic.cz/>
- [58] VICTRON ENERGY. *Self-consumption or Grid independence with the Victron Energy Storage Hub: Whitepaper on selfconsumption* [online]. 2013 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.victronenergy.com/upload/documents/Whitepaper%20-%20Self%20Consumption%20or%20Grid%20independence%20with%20the%20Victron%20Energy%20Storage%20Hub%20-%20rev%2002%20-%20EN.pdf>
- [59] *Porovnání cen elektřiny 2013* [online]. 2013 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.cenyenergie.cz/>
- [60] Cenové rozhodnutí ERÚ č. 6/2012 kterým se stanovují ceny regulovaných služeb souvisejících s dodávkou elektřiny odběratelům ze sítí nízkého napětí. In: *Energetický regulační věstník*. 2012,

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

CIGS	Copper Indium Gallium Selenid
TUV	teplá užitková voda
EPDM	ethylene propylene diene monomer

SEZNAM PŘÍLOH

1. Rozbor.xls - Elektronická příloha – ekonomický rozbor solárních systémů