



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF ENERGY

SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNA

SOLAR POWER PLANT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PAVEL ŠVAGERA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. et Ing. JAN ŠKVAŘIL

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Pavel Švagera

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Solární elektrárna

v anglickém jazyce:

Solar power plant

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Náplní práce je teoretický rozbor problematiky využívání solární energie, dále pak výběr vhodné technologie a její ekonomické zhodnocení.

Cíle bakalářské práce:

1. Proved'te teoretický rozbor problematiky využívání solární energie.
2. Navrhnete vhodný solární systém pro použití v ČR.
3. Proved'te stručné ekonomické hodnocení.

Seznam odborné literatury:

Mukund R. Patel: Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis, and Operation, Taylor & Francis, Inc., 2005, ISBN 0-8493-1570-0

M. A. Laughton: Renewable Energy Sources, Taylor & Francis, Inc., 1998, ISBN 18-5166-500-5

BERANOVSKÝ, Jiří. Alternativní energie pro váš dům. Brno: ERA, 2004. 125 s. ISBN 80-86517-89-6

MURTINGER, Karel, TRUXA, Jan. Solární energie pro váš dům. Brno: ERA, 2005. 91 s. ISBN 80-7366-029-6

Vedoucí bakalářské práce: Ing. et Ing. Jan Škvařil

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 22.10.2009

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Anotace

Bakalářská práce pojednává o solární elektrárně. V první části se práce věnuje zejména teoretickým pojmům, solární energie, druhy elektráren, princip činnosti fotovoltaického článku, konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů, poloha fotovoltaické elektrárny, druhy systému. V další části se práce věnuje návrhu vhodného systému pro použití v ČR. Následující část práce se věnuje ekonomické studii. V závěrečné části je uvedeno zhodnocení navrhovaného řešení.

Annotation

The Bachelor's thesis discusses about solar power. The first part of the thesis is about theoretical concepts, solar energy, types of power plants, photovoltaic cell operating principle, design and manufacture of photovoltaic cells and panels, photovoltaic location, type of system. The next part deals with the design of system suitable for use in the CR. The next part is devoted to economic studies. There is evaluation of proposed solution in a final part of the thesis.

Klíčová slova

Solární elektrárna
Ekonomická studie
Obnovitelné zdroje energie
Návrh systému
Solární energie

Key words

Solar power plant
Economic essay
Renewable Energy Sources
System design
Solar energy

Bibliografická citace vlastní práce

ŠVAGERA, P. *Solární elektrárna*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 33 s. Vedoucí diplomové práce Ing. et Ing. Jan Škvařil

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Solární elektrárna* vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce pana Ing. et Ing. Jana Škvařila, Vycházel jsem ze svých znalostí a odborných konzultací a z použitých pramenů a literatury uvedených v Seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne 22. května 2010

Autor

Poděkování

Na tomto místě bych velice rád poděkovat svému vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. et Ing. Janu Škvařilovi za zájem, čas a rady, které věnoval mé práci. Mé poděkování rovněž patří všem mým blízkým za velkou podporu.

Obsah

1. Úvod	9
2. Sluneční energie	10
3. Druhy solárních elektráren	11
3.1 Solární elektrárny	11
3.2 Komínová sluneční elektrárna	12
3.3 Parabolické sběrače slunečního záření	14
3.4 Věžová solární elektrárna	14
4. Princip činnosti fotovoltaického článku	15
5. Druhy fotovoltaických článků a panelů	16
5.1 Monokrystalický článek	17
5.2 Polykrystalický článek	17
5.3 Amorfni článek	17
6. Způsoby zvýšení energetických zisků	18
6.1 Oboustranné moduly	18
6.2 Otočné systémy	18
6.3 Koncentrátory sluneční energie	18
7. Možnosti umístění FVE	19
7.1 Střešní systém	19
7.2 Systém instalovaný na pozemku	19
8. Druhy systémů	20
8.1 Ostrovní	20
8.2 Síťový	20
9. Návrh vhodného solárního systému	21
10. Ekonomická studie	22
10.1 Ekonomické hodnocení projektu	22
10.1.1 Cash-Flow neboli peněžní tok investora	22
10.1.2 Čistá současná hodnota	22
10.1.3 Vnitřní výnosové procento	23
10.1.4 Doba návratnosti	23
10.2 Analýza vhodnosti lokality	23
10.3 Lokalita a rozložení fotovoltaických panelů	24
10.4 Technické parametry použitých zařízení	24
10.4.1 Fotovoltaické panely	24

10.4.2	Napěťový střídač	25
10.4.3	Ostatní komponenty	25
10.5	Možnosti výkupu elektrické energie	25
10.5.1	Výkup energie za pevnou výkupní cena	26
10.5.2	Výkup za pomoci zeleného bonusu	26
10.6	Výkon fotovoltaické elektrárny	27
10.7	Celkové zhodnocení projektu	28
11.	Závěr	30
12.	Seznam použitých zdrojů	31

1. Úvod

Jako téma své bakalářské práce jsem si vybral solární elektrárny. Důvodem proč jsem si vybral právě toto téma, je potenciál, který může sluneční energie do budoucna nabídnout.

Dnešní společnost se naučila brát některé věci za samozřejmost. Člověk přijde domů, uvaří si něco k jídlu, pustí televizi, celý den má k dispozici teplou vodu. Tyto věci by nebylo možné uskutečnit bez energie. Závislost společnosti na energii se během staletí zvyšovala. Na počátku lidé topili dřevem, díky průmyslové revoluci se přešlo na uhlí později na ropu, každý tento přechod trval bezmála 60 let. Velký problém, který tu nastává a mnoho lidí si jej neuvědomuje je, že fosilní paliva (uhlí, ropa, zemní plyn) tu nebudou napořád. Jejich zásoby se rapidně zmenšují a poptávka po energii je čím dál tím větší.

Navíc problémem při spalování fosilních paliv je tvorba škodlivých látek, které jsou nebezpečné nejen pro člověka ale i pro samotnou Zemi. Ostatně každý z nás slyšel o globálním oteplování a skleníkovém efektu.

Společnost by měla začít řešit tento problém co nejrychleji a vyhnout se tak zbytečným problémům. Prakticky vzato fosilní paliva jednoho dne dojdou a je jen na nás, zda za ně budeme mít náhradní zdroje energie. Jako jediné myslitelné řešení do budoucna se jeví obnovitelné zdroje energie (OZE), které jsou nyní ještě stále drahé, ale jejich cena bude postupně klesat.

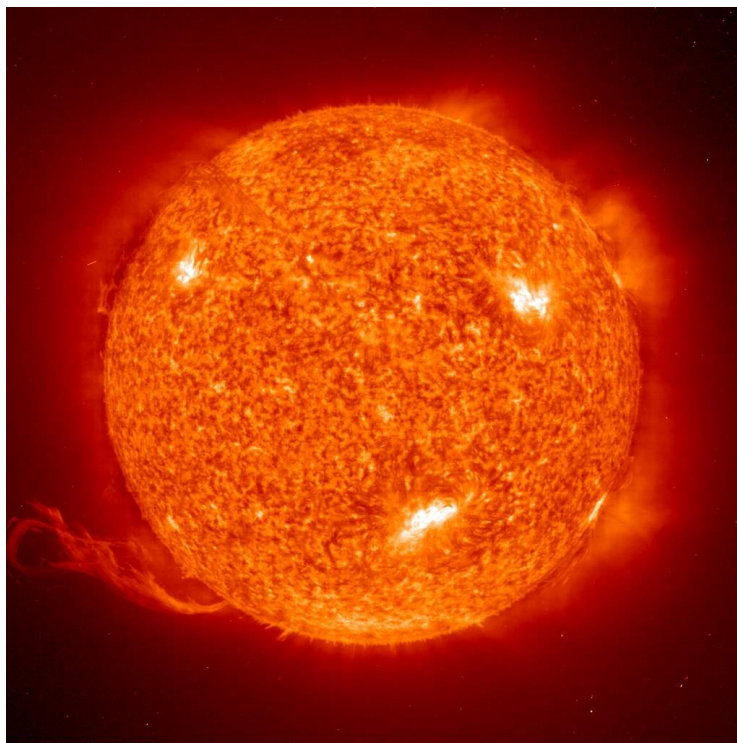
Na solární elektrárnu narazil již každý z nás. Jen si vzpomeňme na své kalkulačky či zahradní lampy, na které narážíme v našem každodenním životě. V této práci budou popsány základní typy a rozdělení elektráren, princip činnosti, návrh vhodné fotovoltaického systému v poslední kapitole provedu ekonomickou studii pro FVE instalovanou na rodinném domě, která bude brána z pohledu investora. Celkové zhodnocení zda se FVE vyplatí či nikoliv bude v závěru této práce.

2. Sluneční energie

Téměř veškerá energie, kterou na Zemi máme, pochází ze slunečního záření. Předpokládaná doba záření slunce je 7 miliard let. Slunce je naše jediná hvězda ve sluneční soustavě, nachází se přibližně v 1/3 průměru disku Galaxie. Průměr slunce činí 1 400 000 km a je od nás vzdálené $149,6 \times 10^6$ km. Přičemž jeho paprsky překonají tuto vzdálenost za 8,31 minuty při rychlosti 299 792 458 m/s.

Slunce se skládá převážně z vodíku, v menší míře z hélia a dalších stopových prvků. Energie vyzařovaná Sluncem vzniká při termonukleárních reakcích v jeho jádru. Každou sekundu se přibližně 700 milionů tun vodíku přemění na 695 milionů tun hélia a zbylých 5 milionů tun hmotnosti se přemění na energii (96% elektromagnetické záření, 4% odnášejí elektronová neutrina). Před vstupem do atmosféry je tok sluneční energie $1,5 \text{ kW/m}^2$, část energie však pohltí atmosféra a mraky. U Země je tedy tok sluneční energie $1,4 \text{ kW/m}^2$. [1]

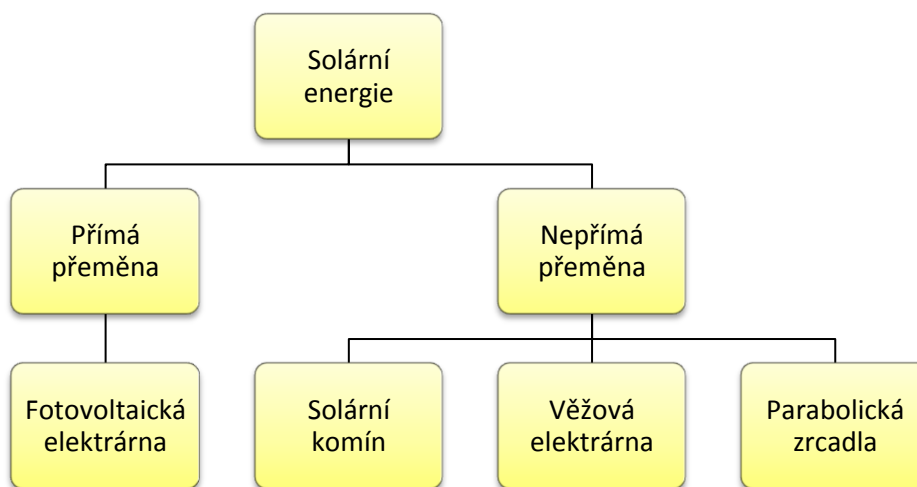
Uvnitř slunce probíhá termonukleární reakce, je to opačná reakce k jadernému štěpení, které se používá v jaderných elektrárnách. Jedná se o slučování atomů. Tato reakce má však mnohem větší účinnost. K uskutečnění této reakce je potřeba velkých teplot a tlaků, které vyžadují velmi drahé materiály. Ve Francii je již postavená experimentální elektrárna. Objevují se i experimenty se studenou fúzí.



Obrázek 2.1 Slunce [1]

3. Druhy solárních elektráren

Solární elektrárny můžeme dělit podle způsobu využití energie, buď s přímou anebo s nepřímou přeměnou. Na obr. 3.1 můžeme vidět diagram rozdělení elektráren. Při přímé přeměně využíváme fotovoltaické články, které mění sluneční svit na elektrickou energii. Nepřímá přeměna využívá ohřátého média (většinou vody) k pohonu generátoru a tím tvorby elektrické energie. Dále můžeme nepřímé elektrárny dělit na solární komín využívá rozdíl v hustotě vzduchu a k vytvoření tzv. komínu, ve kterém dochází k proudění vzduchu. Dalším druhem elektrárny je věžová, jde o mnoho zrcadel, která koncentrují sluneční energii do určitého bodu, kde ohřívají médium. To se postupně zahřívá a mění na páru, která roztáčí lopatky turbíny (stejný cyklus jako v parní nebo jaderné elektrárně, jen jiný zdroj tepla).



Obrázek 3.1 Diagram rozdělení elektráren

3.1 Solární elektrárny

Tato elektrárna využívá princip fotoelektrického jevu (viz. kapitola 4). Tyto elektrárny můžeme v dnešní době vidět velmi často na rodinných domech i na školách, díky projektu Slunce do škol. Tyto elektrárny nacházejí uplatnění i v odlehlých lokalitách, kde by bylo velmi nákladné budovat elektrickou přípojku. Základem FVE jsou fotovoltaické panely, které jsou spojeny a pomocí kabeláže. Dalšími nezbytnými částmi je měnič a elektroměr, případně akumulátor.

podle velikosti solární elektrárny se dělí na:

- malé - pro rodinné domy, chaty, nekomerční objekty, výkon do 10 kWp
- střední - pro menší podnikatelské záměry, na střechy dílen, výkon cca do 500 kWp
- velké - solární parky na velkých střechách či volné ploše, výkon od 500 kWp



Obrázek 3.2 Fotovoltaická elektrárna [2]

3.2 Komínová sluneční elektrárna

Princip spočívá v tom, že sluneční paprsky dopadají na skleněnou plochu a ohřívají vzduch uvnitř (stejně jako ve skelníku) ten díky nižší hustotě stoupá vzhůru komínem a vytváří proud vzduchu, který roztáčí lopatky větrných turbín a ty produkují elektrický proud. Elektrárna může pracovat i v noci díky nádržím se slanou vodou, které se v noci ochlazují a udržují stálý proud vzduchu. Princip využití rozdílu hustot vzduchů se začíná používat i v tzv. zelených domech, kdy se používá k větrání a vytápění. Například Moravská zemská knihovna v Brně.

Nicméně pro vybudování této elektrárny je potřeba velké množství místa. Výkonnost této elektrárny se pohybuje pod 2 % a závisí na výšce komínu. Proto je vhodná pro oblasti s levnými pozemky. Např. pouště. I přes malou účinnost může být plocha pod zasklením využita jako zemědělská plocha. Zatím největší elektrárna byla postavena ve Španělsku s výškou komínu 195 m a výkonem 50 MW. V roce 1989 byl projekt ukončen, kvůli poškození komínu větrem. [2]



Obrázek 3.3 Komínová sluneční elektrárna [2]



Obrázek 3.4 Parabolická elektrárna [2]

3.3 Parabolické sběrače slunečního záření

Jde o podobnou konstrukci jako u paraboly ve světlech automobilu. Sluneční paprsky jsou koncentrovány do jednoho ohniska, kde je absorbér. Uvnitř se zahřívá voda, která se po vypaření odvádí do turbíny, která vytváří elektrickou energii. Paraboly o velkých průměrech jsou složeny z většího počtu malých zrcadel. Parabola se automaticky natáčí za sluncem. Namísto absorbérů může také parabola dodávat energii do Stierlingova motoru, kde se mění tepelná energie na mechanickou a motor pohání generátor elektrické energie. Účinnost tohoto zařízení dosahuje až 30%. K dosažení této účinnosti je potřeba přesné sledování slunce a další nevýhodou toho systému je fakt, že koncentrátoři pracují pouze s přímým světlem, nikoli difúzním. Jsou tedy výhodné jen tam, kde převládá slunečné počasí s velkým podílem přímého záření. Dvě tyto elektrárny se nacházejí v Arizoně (USA). [3]

3.4 Věžová solární elektrárna

Tato elektrárna využívá stovky otočných zrcadel k soustředění paprsku na hlavní věž, kde soustředěný paprsek světla ohřívá vodu, která se vypařuje a pohání parní turbínu. Tento cyklus se jmenuje Rankieův-Clausiův. Je to stejný princip, které využívají uhelné a jaderné elektrárny, můžeme jej vidět na obr. 3.6. Největší elektrárna je postavena ve Španělsku a je vysoká jako 54 poschodový dům a má přes 1200 zrcadel, její výkon je přes 20 MW, což je dost energie pro 10 000 rodinných domů. Z počátku vypadaly věžová elektrárna velmi slibně, postupem času se ovšem zjistilo, že je velmi technicky i finančně náročné udržet odchylku zrcadel $\Delta p \leq 0,1^\circ$. Navíc při ploše zrcadel kolem 40 m^2 , velmi často podléhaly poryvům větru. [3]

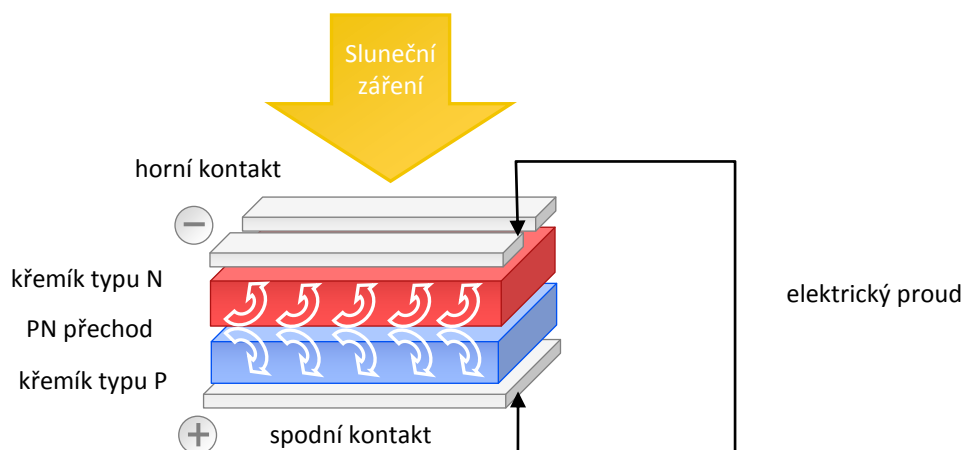


Obrázek 3.5 Věžová solární elektrárna [4]

4. Princip činnosti fotovoltaického článku

Uvnitř článku probíhá fotovoltaický jev, jde tedy o přímou přeměnu sluneční energie na elektrickou energii.

Dopadem fotonů na polovodičový p-n přechod dochází k uvolňování a hromadění volných elektronů. Pokud je p-n přechod doplněn o elektrody nazývané anoda (+) a katoda (-), je fotovoltaický článek hotov, proud elektronů prostřednictvím těchto elektrod proteče do dalších elektrických obvodů. Fotovoltaiku objevil Alexander Edmond Becquerel v roce 1839.



Obrázek 4.1 Fotovoltaický článek [5]

5. Druhy fotovoltaických článků a panelů

První články, které se zapojovaly do panelů, se začaly objevovat v 50. letech 20. století pro potřeby vesmírného výzkumu. Jejich cena se pohybovala okolo 3000 Kč/Wp¹, od 70. let díky poptávce začala cena klesat na dnešních 45 Kč/Wp.

V dnešní době jsou všechny běžně používané fotovoltaické články vyráběny na bázi křemíku, který má nesčetné výhody. Je hojně zastoupen v zemské kůře. Proto je velmi levný, je snadno dostupný, není jedovatý a je asi nejprozkoumanějším polovodičem. Různým zpracováním křemíku lze vyrobit monokrystalické, polykrystalické a amorfní fotovoltaické články. Články jsou seskupené do fotovoltaických panelů různých velikostí a výkonů, jsou základem fotovoltaického systému.

Nově se na trhu objevují články druhé generace tzv. tenkovrstvé. Při jejich výrobě se spotřebuje méně materiálu, ten se nanáší v tenké vrstvě na sklo, ocelový plech nebo plastové fólie. Jejich účinnost se pohybuje kolem 10%, což není mnoho. Výhodou těchto článků je cena, která je nižší.

Kromě křemíku a jeho modifikací se experimentuje i s alternativními materiály. Celkový přehled používaných materiálů a technologií nalezneme v tabulce 5.1.

Tabulka 5.1 Přehled používaných materiálů a technologií

Objemové materiály	Tenkovrstvé technologie	Alternativní technologie
Monokrystalický křemík	Amorfní křemík	Polymerní vrstvy
Multikrystalický křemík	Mikrokrystalický křemík	Články s fotocitlivým barvivem
Polykrystalické plátky Si	CdTe a CdS	
	CuInSe – CIS	
	Amorfní SiGe	
	InGaN	

¹ Kč/Wp - Nejlepší ukazatel pro porovnávání cen fotovoltaických panelů.

Wp - Wp (Watt peak) je jednotkou nominálního výkonu fotovoltaického panelu. Jde o výkon vyrobený solárním panelem při standardizovaném výkonnostním testu. [6]

5.1 Monokrystalický článek

Monokrystalická buňka má tvar černého osmiúhelníku na obr. 5.1. Monokrystalické buňky mají větší účinnost než polykrystalické, ale využití plochy modulu není vzhledem k tvaru tak dokonalé - v konečném výsledku jsou oba typy modulů výkonově obdobné. Monokrystalické články jsou především pro přímé osvětlení. Proto se používají ve vesmíru pro vesmírné lodě a stanice, kde je stále přímé osvětlení. Účinnost monokrystalických modulů je 12-16%.



Obrázek 5.2 Monokrystalický článek [6]

5.2 Polykrystalický článek

Polykrystalická buňka je zbarvena modře ve tvaru čtverce. Účinnost polykrystalických modulů je 12-14%. Polykrystalické články umí lépe pracovat s difúzním světlem. Cena polykrystalického fotovoltaického panelu se pohybuje 45 Kč/Wp. V ČR je tento typ panelů nejrozšířenější.

5.3 Amorfni článek

Novým druhem jsou články z amorfního křemíku, který je v tenké vrstvě nanesen na sklo nebo fólii. Účinnost amorfních článků je 8-9%. Pro dosažení daného výkonu je potřeba 2,5x větší plochy, než kolik by bylo potřeba při použití mono nebo polykrystalických modulů. Celoroční výnos je ovšem o 10% vyšší! Cena amorfního fotovoltaického panelu se pohybuje 30 Kč/Wp.

6. Způsoby zvýšení energických zisků

Při instalaci FVE máme na výběr z 3 možností, jak můžeme navýšit výkon. Některé tyto způsoby je možno kombinovat.

6.1 Oboustranné moduly

V podstatě se jedná o fotovoltaický panel, který využívá obou stran. Je vyroben z oboustranných fotovoltaických článků. Výhodou oboustranných panelů je cena, která se příliš neliší nebo je dokonce stejná oproti standardním panelům. Nastavení sklonu oboustranných panelů je velmi individuální a velmi záleží na odrazivosti materiálu v místě instalace. I přes to, že odvrácená strana pracuje jen s odraženým a difúzním zářením, je výkon oproti normálním panelům asi o 30% větší.

6.2 Otočné systémy

Těmto systémům se v poslední době věnuje velká pozornost, neboť mohou výrazně zvýšit efektivitu solárního systému. Tím, že zvýší množství vyrobené energie a tak tuto energii zlevní. Solární panel má největší účinnost, když na něj dopadá sluneční energie pod úhlem 90° a to se otočný systém snaží zajistit. Experimentálním měřením bylo zjištěno, že v ČR jde pomocí otočných systémů výkon navýšit až o 30%.

Každý otočný systém má vestavěný sledovač, který mění natočení panelu během dne. Existuje několik typů sledovačů, avšak jako nejlepší se v dnešní době jeví sledovač typu TRAXLE™, který je na obrázku 6.1. [3]

6.3 Koncentrátory sluneční energie

Jedná se o zrcadla, která usměrňují sluneční energii na plochu fotovoltaických panelů. Uspořádání zrcadel může být do tvaru žlabu nebo do tvaru hřebene. Nevýhoda u V-žlabových systémů je, že sluneční energie přehřívá fotovoltaický panel a způsobuje degradaci. Tento systém se hodí spíše do vyšších zeměpisných výšek, kde je trvale nižší teplota. Při uspořádání zrcadel do tvaru hřebenu je dosaženo účinnějšího ochlazování viz obrázek 6.1. [3]



Obrázek 6.1 Koncentrátor energie TRAXLE [7]

7. Možnosti umístění FVE

Při rozhodování o instalaci FVE máme na výběr ze dvou variant. Střešní instalaci, která je určena zejména pro menší FVE nebo systém instalovaný na pozemku určený pro velké FVE. V dalších podkapitolách popíšeme výhody a nevýhody obou variant.

7.1 Střešní systém

Tento typ instalace se používá hlavně pro menší elektrárny, které jsou umístěny na rodinných domech či školách. Výhody těchto instalací je, že střecha je prostorem nevyužívaným a obvykle se za něj nemusí platit žádný nájem. Jediný problém může vzniknout tehdy, jestli se orientace a sklon střechy výrazně liší od doporučených hodnot. Tento problém nastává u sedlových střech. Pro tento druh instalace není potřeba stavební povolení.

7.2 Systém instalovaný na pozemku

Jedná se převážně o velké systémy o výkonech v řádech kWp až MWp. Mají svoji vlastní elektrickou přípojku. Veškerá vyprodukovaná energie je dodávána do distribuční sítě. Celá plocha elektrárny musí být oplocena a zabezpečena čidly a kamerovým systémem. Při instalaci FVE na

pozemku je potřeba stavební povolení. Nevýhodou jsou náklady spojené s oplocením popřípadě pronájmem pozemku.

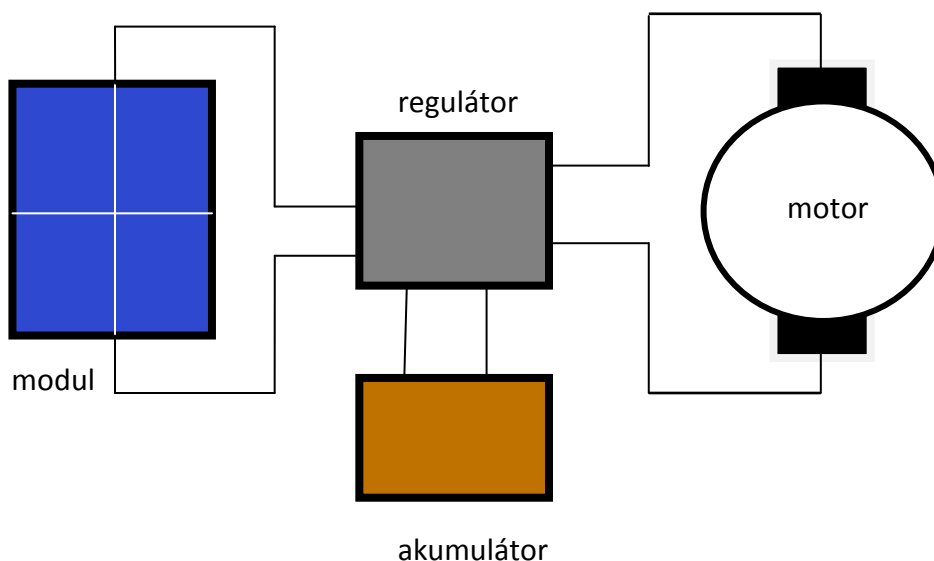
Pro velké elektrárny se může uvažovat o použití fotovoltaických panelů s otočným stojanem (viz. kapitola 6.), který přes den sleduje slunce. Účinnost tohoto systému je až o 30 % vyšší, než při použití statického systému. Nevýhodou je vyšší počáteční investice a větší poruchovost. Použití tohoto systému obvykle bývá výnosnější, než u statického uložení panelů. Většina investorů se ovšem přiklání ke statickým systémům, kde je nižší riziko stejně jako udržovací náklady.

8. Druhy systémů

FVE elektrárna může být instalována jako samostatný elektrický systém nebo může být připojena k rozvodné síti.

8.1 Ostrovní

Tento druh systému se vyskytuje na místech, kde není elektrická přípojka. Příkladem mohou být chaty, expedice, jachty, karavany. Elektrická energie vyprodukovaná pomocí FV článku je ihned spotřebována v přístrojích nebo uložena v akumulátorech pro pozdější použití. Na obrázku 8.1 je schéma ostrovního systému.



Obrázek 8.1 Schéma ostrovního systému [2]

8.2 Síťový

Energie vyrobená pomocí slunečního záření se využije pro potřeby v budově a zbytek se prodá do rozvodné sítě nebo se prodá úplně vše. Volba záleží na ekonomické kalkulaci a velikosti FVE. Tento systém je v dnešní době nejrozšířenější.

První větší FVE v ČR o výkonu 10 kW byla postavena v roce 1998 na hoře Mravenečník v Jeseníkách a financovala ji společnost ČEZ a.s. Kvůli častým poškozením od vandalů byla v roce 2003 přesunuta k jaderné elektrárně Dukovany. [8]

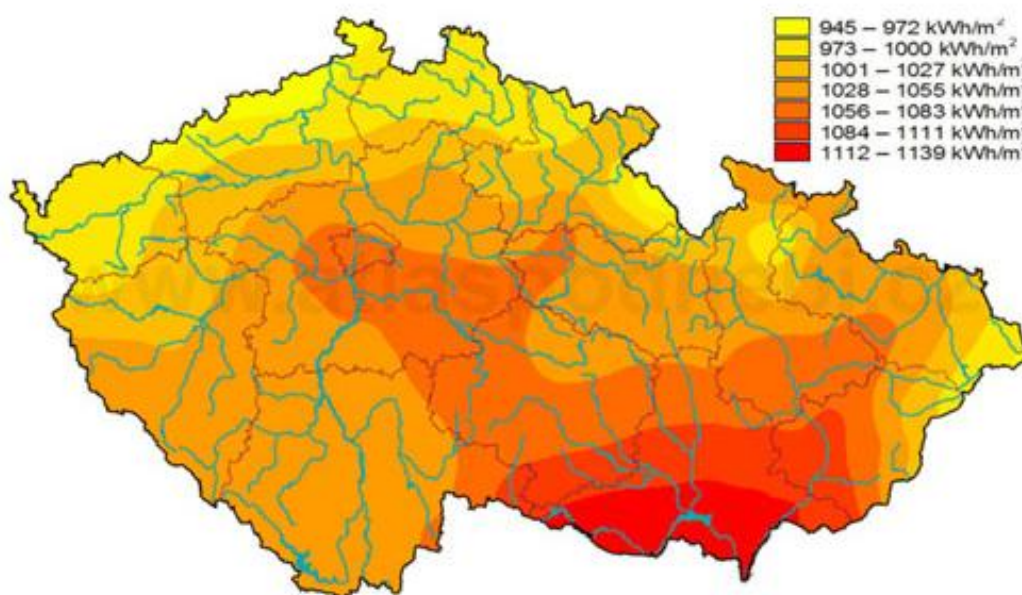
9. Návrh vhodného solárního systému

V první řadě si musíme uvědomit, pro jaký účel budeme FVE využívat. Od toho se bude odvíjet další postup v plánování. Návrh v mé bakalářské práci se bude věnovat rodinnému domu.

Pro maximální využití potenciálu solárních článků je potřeba dodržet určitý sklon a orientaci. Ideální podmínky pro ČR jsou: sklon 36° (odchylka od vodorovné polohy) a orientaci 1° na jih. Tyto hodnoty se mohou ještě mírně odlišovat v závislosti na přesné poloze. Samozřejmě dopadajícímu světlu na panely nesmí nic bránit.

Ideální sklon je takový, kdy v poledne dopadají sluneční paprsky pod nulovým úhlem na fotovoltaický panel. Pro maximální využití solárního systému je vhodné měnit nastavení sklonu dvakrát do roka. Pro letní a zimní provoz. Pokud tato možnost není, bývá fotovoltaický systém optimalizován pro provoz v zimních měsících, kdy je sluneční energie méně.

Další podstatnou věcí je lokalita, kde by se měla budoucí FVE nacházet. Celá ČR je velmi vhodná pro budování solární elektrárny. Přibližný dopad solární energie můžeme vyčíslit z mapy na obrázku 7.1. Na první pohled je patrné, že nejvhodnější umístění v ČR je jižní Morava. Také proto je zde nejvíce FV elektráren. Pro ekonomickou studii (viz. kapitola 10) použijí webovou aplikaci, která má přesnější statistiku.



Obrázek 9.1 Mapa průměrného solárního záření za rok [9]

10. Ekonomická studie

Tato část je nejdůležitější při pořizování FVE. Díky ní zjistíme, za jak dlouho se nám investice vrátí a kolik bude poté vydělávat. Vzhledem k dobrým výkupním cenám existuje na českém trhu mnoho firem, které se zabývají FVE a provádí předběžné kalkulace zdarma. Bohužel mnoho firem své kalkulace upravuje dle svých potřeb.

10.1 Ekonomické hodnocení projektu

Pro zjištění, zda je investice zisková či není, existuje několik metod hodnocení. Nejpoužívanější pro výpočet fotovoltaických systémů je doba návratnosti, která nám řekne, za jak dlouho se nám investice vrátí. Pokud má investor na výběr i jiné projekty jsou vhodné metody čisté současné hodnoty a vnitřního výnosového procenta.

10.1.1 Cash-Flow neboli peněžní tok investora

Peněžní tok, nebo také cash flow, je jednoduše řečeno příjem nebo výdej peněžních prostředků. Peněžní tok za určité období představuje tedy rozdíl mezi příjmy a výdaji peněžních prostředků za toto období [10]

$$CF = (V - N) \quad (10.1.1)$$

V – příjmy plynoucí z realizace hodnocené varianty

N – provozní náklady

10.1.2 Čistá současná hodnota

Čistá současná hodnota investice (NPV) představuje rozdíl mezi současnou hodnotou očekávaných výnosů (Cash Flow) a náklady na investici.

$$NPV = \sum_{t=0}^{Tz} \frac{CF}{(1 + d)^{-t}} \quad (10.1.2)$$

Tz – doba ekonomické životnosti

d – diskont (alternativní náklady kapitálu)

t – jednotlivé roky

Při porovnávání více variant, se za nejlepší považuje ta, která má největší NPV. Při $NPV < 0$ se projekt považuje za nezajímavý.

10.1.3 Vnitřní výnosové procento

Vnitřní výnosové procento (IRR). Je to taková hodnota úrokové míry, kterou když dosadíme místo diskontní sazby, tak vyjde čistá současná hodnota rovna nule.

$$NPV = \sum_{t=0}^{Tz} \frac{CF}{(1+u)^{-t}} \quad (10.1.3)$$

Při porovnávání více variant hledáme tu s největším vnitřním výnosovým procentem.

10.1.4 Doba návratnosti

Je dána počtem let, za kterých tok výnosů přinese hodnotu rovnající se původním nákladům na investici.

$$Ts = \frac{N_p}{CF} \quad (10.1.4)$$

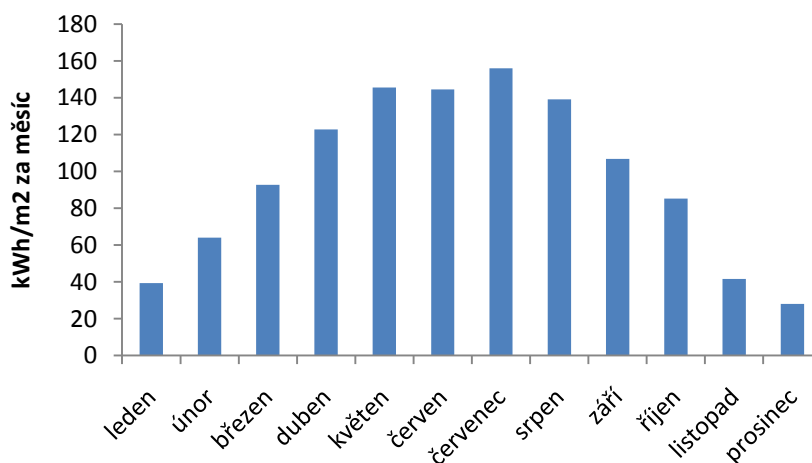
N_p – počáteční náklady

CF – peněžní tok

Investice z nejnižší dobou návratnosti je nejvýhodnější.

10.2 Analýza vhodnosti lokality

Lokalita na které bude fotovoltaická elektrárna umístěna se nachází ve Zlínském kraji. Přesné souřadnice jsou 49°20'46.871"N, 17°59'12.927"E². Na obr. 10.1 lze vidět měsíční úhrn slunečního záření na rovinu fotovoltaického panelu.



Obrázek 10.1 Graf slunečního záření

² Upřesnění lokality – FVE se bude nacházet na ulici Na Výsluní

10.3 Lokalita a rozložení fotovoltaických panelů

FVE se bude nacházet na střeše rodinného domu. Technické specifikace důležité pro výpočet jsou udány v tabulce 10.1.

Tabulka 10.1 Základní parametry domu

Základní parametry domu	
Místo instalace:	rodinný dům
Využitelná plocha:	10 x 10 m
Odklonění domu od jihu:	-15° na západ
Sklon střechy domu:	5° (rovná)

Díky instalaci na střechu rodinného domu, není třeba brát v úvahu pronájmy či koupě pozemků. Nevýhoda střešní instalace spočívá v omezeném místě pro instalaci FV panelů. Na obrázku 10.2 je naznačeno přibližné rozložení fotovoltaických panelů.



Obrázek 10.2 Model domu a přibližné rozložení fotovoltaických panelů

10.4 Technické parametry použitých zařízení

Zde bude popis nejdůležitějších zařízení, která se používá při stavbě fotovoltaické elektrárny.

10.4.1 Fotovoltaické panely

Panely jsou základní částí celé fotovoltaické elektrárny. Vzhledem k tomu, že ve Zlínském kraji nepřevládá přímé sluneční záření, volím polykrystalické panely, jejichž parametry můžeme najít v tabulce 10.2.

Tabulka 10.2 Základní parametry fotovoltaického panelu

SUNTECH STP270-24	
Rozměry	1956 × 992 × 50mm
Váha	27 kg
Maximální výkon	270 Wp
Provozní teplota	-40°C až + 85°C
Maximální napětí	35 V
Maximální proud	7.71 A

10.4.2 Napěťový střídač

Ve fotovoltaických panelech je vyroben stejnosměrný proud, který je potřeba přeměnit na proud střídavý a tato změna se děje ve střídači (měniči). Střídače se vyrábějí s transformátorem nebo bez něj. Beztransformátorové střídače mají menší tepelné ztráty a tudíž i větší účinnost. Střídače obsahují i grafický displej, který zobrazuje denní hodnoty produkce elektrické energie a další informace.

Při použití amorfních fotovoltaických panelů by bylo nutné zvolit střídač s transformátorem.

Tabulka 10.3 Základní parametry napěťového střídače

SMA Sunny Boy 5000TL	
Jmenovitý výkon	4 600 W
Maximální výkon	5 000 W
Rozsah vstupního napětí	125 - 750 V
Maximální vstupní proud	2 x 15 A
Maximální účinnost	97%
Průměrná účinnost Euro-EtaE	96%

10.4.3 Ostatní komponenty

Další nezbytné prvky pro řádný chod elektrárny. Jedná se o elektroměr, kabeláž a držáky pro fotovoltaické panely.

10.5 Možnosti výkupu elektrické energie

Při pořizování menší FVE pro rodinné domy máme na výběr ze dvou možností jak nakládat s vyrobenou elektrickou energií. Můžeme všechnu vyrobenou energii prodat za pevnou výkupní cenu nebo část spotřebovat a zbytek prodat tzv. zelený bonus.

10.5.1 Výkup energie za pevnou výkupní cenu

Všechna vyrobená elektrická energie se bude prodávat do rozvodné sítě. Tuto skutečnost zobrazuje obrázek 10.3.

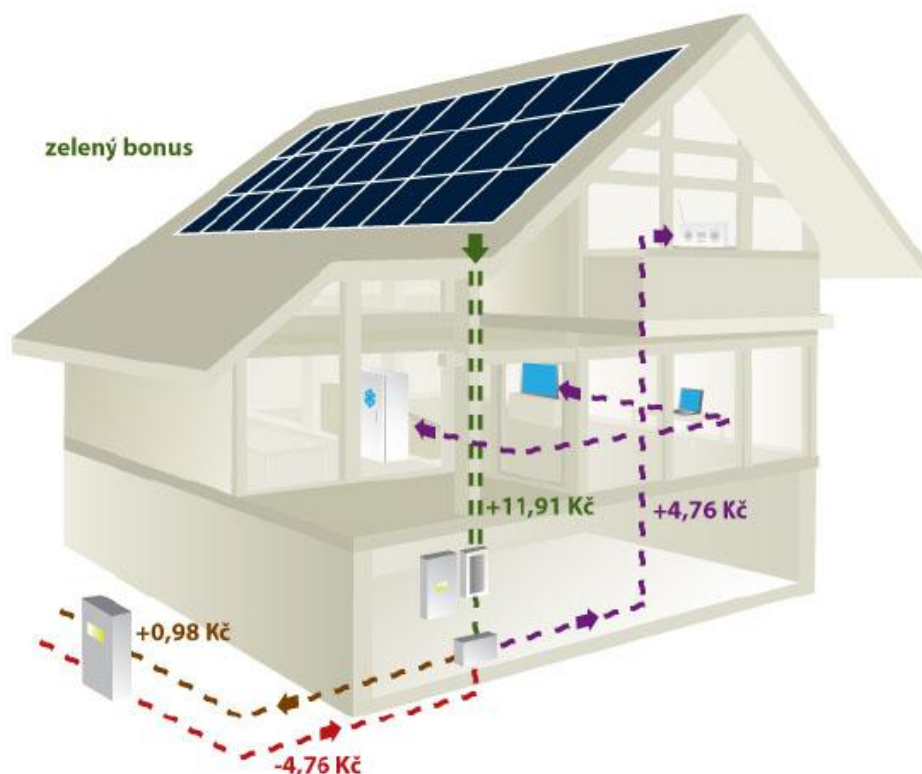


Obrázek 10.3 Schéma pevné výkupní ceny [6]

Výkupní cena pro FVE do výkonu 30 kW rok 2010 byla stanovena na 12,25 Kč. Tato cena se každý rok zvyšuje dle vyhlášky č. 140/2009 Sb., se u stávajících elektráren výkupní ceny meziročně zvyšují s ohledem na index cen průmyslových výrobců (PPI) o minimálně 2 a maximálně o 4%. Pro tuto kalkulaci byla použita 2%.

10.5.2 Výkup za pomoci zeleného bonusu

Zelený bonus je příplatek k tržní ceně elektřiny. Prodá-li výrobce elektřinu z OZE za smlouvenou tržní cenu jakémukoliv konečnému zákazníkovi či obchodníkovi s elektřinou nebo vyrobenou elektřinu sám spotřebuje, má právo navíc inkasovat od provozovatele přenosové nebo regionální distribuční soustavy na základě předloženého výkazu zelené bonusu. [11]



Obrázek 10.4 Schéma zeleného bonusu [6]

10.6 Výkon fotovoltaické elektrárny

Elektrárna se bude skládat z 16-ti polykrystalických panelů, které budou uloženy na nerezových konstrukcích ve 4 řadách po 4. Vzdálenost mezi panely bude přibližně 2 m. Vzhledem k uložení instalace na střeše je potřeba nechat prostor mezi krajními panely a okrajem střechy, kvůli revizním pracím, popřípadě opravám a odstraňování sněhu.

Výkon 4,32 je teoretický pro přepočít jsem použil systém PVGIS³.

Tabulka 10.4 Výkon fotovoltaické elektrárny

Výkon fotovoltaické elektrárny	
Jmenovitý výkon panelu	270 Wp
Počet panelů	16 Ks
Celkový teoretický výkon elektrárny	4,32 kWp
Celkový výkon elektrárny ze rok	4 168,8 KWh

³ Systém PVGIS umožňuje přesný a ověřený odhad na základě vložených parametrů. Přesnost je zaručena statistickým sběrem dat, který probíhal v letech 1985 - 1995 v celé Evropě. Evropa tak byla rozdělena na plochy o velikosti 1 x 1 km, ve kterých byly pravidelně odečítány hodnoty intenzity slunečního záření, teploty, apod. [6]

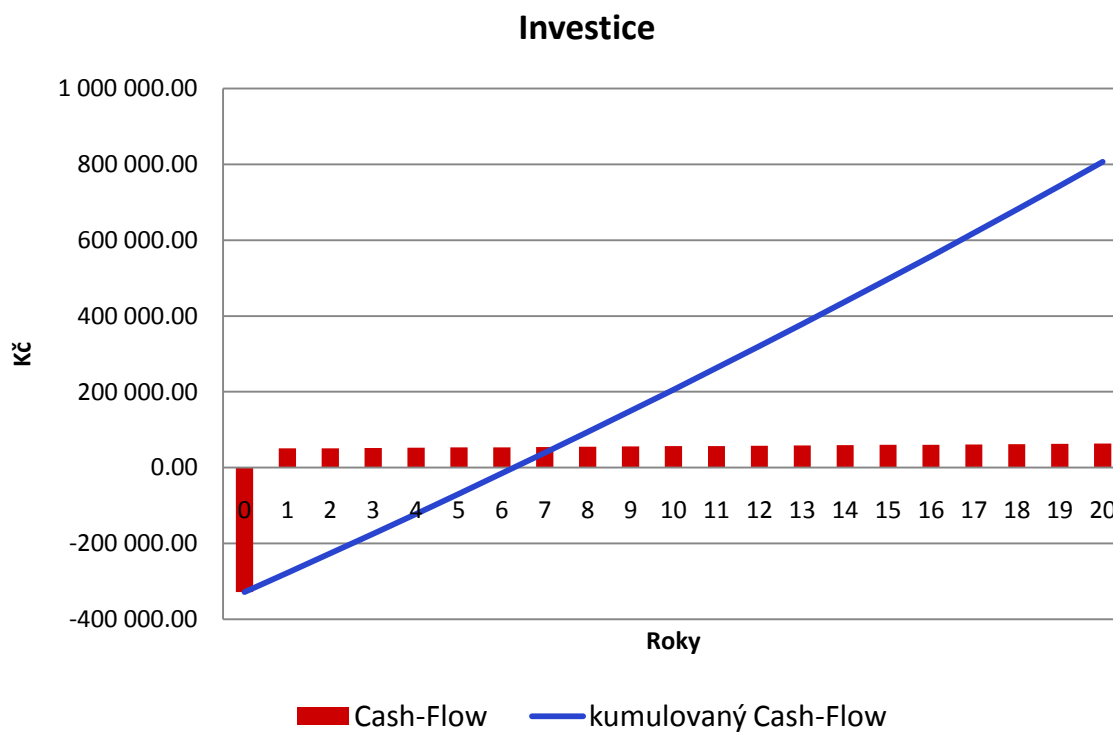
10.7 Celkové zhodnocení projektu

Výpočet je proveden pro pevnou výkupní. Výchozí data jsou uvedena v příloze číslo 1. Za pomoci vzorců v teoretické části jsou vypočteny výsledky v tabulce 10.5. Pro výpočet byl použit program Microsoft Office Excel. Průběh Cash-Flow můžeme vidět na obrázku 10.5.

Tabulka 10.5 Zhodnocení projektu

Výnosy			
Celkový výkon elektrárny za rok		4 168,8 KWh	
Pevná výkupní cena		12,25 Kč	
Roční výnosy		51 067,80 Kč	
Náklady			
	počet	Kč	celkem Kč
Panely	16	12 790	204 640
Měnič	1	65 546	64 455
Držáky	16	15 00	24 000
Elektromateriál	1	30 000	30 000
Ostatní náklady	1	5 000	5 000
Celkové náklady			328 095
Hodnotící kritéria			
Čistá současná hodnota		365 680,29 Kč	
Doba návratnosti		7 let	
Vnitřní výnosové procento		15,1%	

Při výpočtech je nutné brát v potaz, že výkon fotovoltaické elektrárny klesá přibližně o 0,8% ročně. Dále výkupní cena se zvyšuje (viz. kapitola 10.5.1.) Celkovou investici 328 095 Kč investor hradí sám. Nejsou tudíž započítány žádné úroky. Při financování FVE pomocí hypotéky by se doba návratnosti prodloužila.



Obrázek 10.5 Průběh investice

Z průběhu grafu na obrázku 10.5 je patrná doba návratnosti 7 let (průsečík modré křivky a hranice 0 Kč). Cash-Flow se postupně zvětšuje díky stoupající ceně výkupní energie.

11. Závěr

Pro ekonomickou studii jsem zvolil návrh z polykrystalických panelů, které budou umístěny na střeše rodinného domu. Při investici 325 095 Kč a při výkonu 4 168,8 kWh ročně, je doba návratnosti investice 7 let a vnitřní výnosové procento 15,1 %. Při ročních nákladech 2 000 Kč.

Z celkového hlediska vyšla ekonomická studie velmi dobře. Bohužel v době dokončení bakalářské práce poslanecká sněmovna Parlamentu odsouhlasila návrh novely zákona č. 180/2005 Sb. (tzv. malou novelu) o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů. Uspěl tedy návrh, kdy oproti dosavadnímu stavu se může výkupní cena snížit i o více než 5 %, pokud návratnost investic do zdroje je ve stejném roce, kdy se o ceně rozhoduje, kratší než 11 let.

Ke dni 22. 2. 2010 distribuční firmy nebudou připojovat další FVE. Tato blokáce by se neměla týkat střešních elektráren, které produkují jen několik kWh. ČEPS to zdůvodňuje obavou o stabilitu energetické sítě, která je podle nich narušena velkým nárůstem FVE v posledních letech. Později se ukázalo, že tato blokáce platí pro všechny FVE.

I přes tyto nepříjemnosti, vidím FVE jako jeden z nejlepších zdrojů obnovitelné energie. Při podrobnějším pohledu na OZE zjistíme, že vodní elektrárny nemají již v ČR velký potenciál (kdekoliv bylo vhodné místo, jsou již postaveny). Větrné elektrárny jsou nevhodné díky proměnlivému výkonu a tím i devastujícím následkům v elektrických soustavách. Nemluvě o estetickém znečištění krajiny a hlukovém znečištění. Jedinými reálnými zdroji energie tak zůstává biomasa a FVE.

S použitím nových technologií, které spotřebují méně křemíku nebo křemík vůbec nebudou používat na výrobu panelů, by se mohla účinnost panelů zvýšit a počáteční náklady snížit. Stavbou dalších FVE elektráren by se mohla postupně nahrazovat energie získávaná z fosilních paliv, která v blízké budoucnosti dojdou nebo jejich ceny budou neúnosné.

12. Seznam použitých zdrojů

- [1] Aldebaran. [Online] <http://www.aldebaran.cz/astrofyzika/sunsystem/slunce.html>.
- [2] ČEZ. [Online] <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k23.htm>.
- [3] LIBRA Martin, POULEK Vladislav. *Fotovoltaika, teorie i praxe využití solární energie*. Praha : ILSA, 2009. 978-80-904311-0-2.
- [4] Gizmag. [Online] <http://www.gizmag.com/worlds-largest-solar-power-tower-plant-now-online/11590/>.
- [5] ŠKVAŘIL, Jan. *Podnikatelský záměr*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2009.
- [6] Solarhaus s.r.o. [Online] <http://www.solarhaus.cz>.
- [7] TZB-info. [Online] <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3542&h=2&pl=49>.
- [8] BERANOVSKÝ, Jiří. *Alternativní energie pro váš dům*. Brno : ERA, 2004. str. 125. ISBN 80-86517-89-6.
- [9] Energetický CZ. [Online] http://www.energeticky.cz/img/00384_slunecni-mapa.jpg.
- [10] Bussiness center. [Online] <http://business.center.cz/business/pojmy/p573-cash-flow.aspx>.
- [11] Energetický regulační úřad. [Online] http://www.eru.cz/dias-read_article.php?articleId=860.
- [12] KRBEK, Jaroslav. *Strojní zařízení tepelných centrál. Návrh a výpočet*. Brno : skripta VUT, 1999.
- [13] Mukund, R. Patel. *Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis, and Operation*, Taylor & Francis, Inc., 2005. ISBN 0-8493-1570-0.
- [14] M. A., Laughton. *Renewable Energy Sources*, Taylor & Francis, Inc., 1998. ISBN 18-5166-500-5.

Seznam obrázků

Obrázek 2.1 Slunce

Obrázek 3.1 Diagram rozdělení elektráren

Obrázek 3.2 Fotovoltaická elektrárna

Obrázek 3.3 Komínová sluneční elektrárna

Obrázek 3.4 Parabolická elektrárna

Obrázek 3.5 Věžová solární elektrárna

Obrázek 4.1 Fotovoltaický článek

Obrázek 5.1 Monokrystalický článek

Obrázek 6.1 Koncentrátor energie TRAXLE

Obrázek 8.1 Schéma ostrovního systému

Obrázek 9.1 Mapa průměrného solárního záření za rok

Obrázek 10.1 Graf slunečního záření

Obrázek 10.2 Model domu a přibližné rozložení fotovoltaických panelů

Obrázek 10.3 Schéma pevné výkupní ceny

Obrázek 10.4 Schéma zeleného bonusu

Obrázek 10.5 Průběh investice

Seznam tabulek

Tabulka 5.1 Přehled používaných materiálů a technologií

Tabulka 10.1 Základní parametry domu

Tabulka 10.2 Základní parametry fotovoltaického panelu

Tabulka 10.3 Základní parametry napěťového střídače

Tabulka 10.4 Výkon fotovoltaické elektrárny

Tabulka 10.5 Zhodnocení projektu

Seznam příloh

Příloha č.1 Výpočet s pevnou výkupní cenou

Příloha č.1 Výpočet s pevnou výkupní cenou

rok	výkon za rok (kWh), klesá o - 0,8% za rok	výkupní cena (Kč)	příjem (Kč)	náklady (Kč)	CF (Kč)	kumulované CF (Kč)	diskontované CF (Kč)
0				328 095	-328 095,00	-328 095,00	-328 095,00
1	4 168,8	12,25	51 067,80	2 000,00	50 567,80	-277 527,20	48 159,81
2	4 135,4496	12,50	51 672,44	2 000,00	51 172,44	-226 354,76	46 414,91
3	4 102,366003	12,74	52 284,24	2 000,00	51 784,24	-174 570,51	44 733,18
4	4 069,547075	13,00	52 903,29	2 000,00	52 403,29	-122 167,22	43 112,32
5	4 036,990699	13,26	53 529,66	2 000,00	53 029,66	-69 137,56	41 550,13
6	4 004,694773	13,52	54 163,46	2 000,00	53 663,46	-15 474,10	40 044,50
7	3 972,657215	13,80	54 804,75	2 000,00	54 304,75	38 830,65	38 593,37
8	3 940,875957	14,07	55 453,64	2 000,00	54 953,64	93 784,29	37 194,79
9	3 909,348949	14,35	56 110,21	2 000,00	55 610,21	149 394,50	35 846,84
10	3 878,074158	14,64	56 774,56	2 000,00	56 274,56	205 669,06	34 547,70
11	3 847,049565	14,93	57 446,77	2 000,00	56 946,77	262 615,82	33 295,59
12	3 816,273168	15,23	58 126,94	2 000,00	57 626,94	320 242,76	32 088,83
13	3 785,742983	15,54	58 815,16	2 000,00	58 315,16	378 557,92	30 925,77
14	3 755,457039	15,85	59 511,53	2 000,00	59 011,53	437 569,45	29 804,83
15	3 725,413383	16,16	60 216,15	2 000,00	59 716,15	497 285,59	28 724,49
16	3 695,610075	16,49	60 929,11	2 000,00	60 429,11	557 714,70	27 683,27
17	3 666,045195	16,82	61 650,51	2 000,00	61 150,51	618 865,21	26 679,76
18	3 636,716833	17,15	62 380,45	2 000,00	61 880,45	680 745,66	25 712,60
19	3 607,623099	17,50	63 119,03	2 000,00	62 619,03	743 364,69	24 780,48
20	3 578,762114	17,85	63 866,36	2 000,00	63 366,36	806 731,05	23 882,12