

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING**

ŽIVOTNÍ CYKLUS SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNY, EFEKTIVITA A NÁVRATNOST

**DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS**

**AUTOR PRÁCE
AUTHOR**

Bc. DAVID KUBÍN

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor

Elektroenergetika

Student: Bc. David Kubín

ID: 115209

Ročník: 2

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Životní cyklus solární elektrárny, efektivita a návratnost

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Rešerše současného stavu problematiky v oblasti fotovoltaických a solárních technologií.
2. Specifikace a parametrizace jednotlivých technologií.
3. Konkretizace typických aplikací a realizací fotovoltaické a solární elektrárny a určení všech souvisejících parametrů.
4. Tvorba matematického modelu fotovoltaické a solární elektrárny s vazbou na ekonomické parametry.
5. Volba vhodného programového prostředí a tvorba simulačního programu demonstrujícího tyto vazby.
6. Zhodnocení a závěr práce.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 24.5.2013

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

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Bibliografická citace práce:

KUBÍN, D. *Životní cyklus solární elektrárny, efektivita a návratnost*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 85 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Macháček, Ph.D..

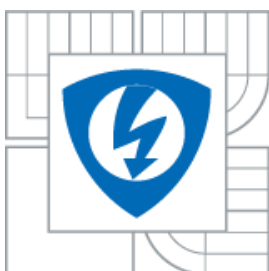
Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského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

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

ŽIVOTNÍ CYKLUS SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNY, EFEKTIVITA A NÁVRATNOST

THE LIFE CYCLE OF SOLAR POWER, EFFICIENCY AND RETURN

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. DAVID KUBÍN

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN MACHÁČEK, Ph.D.

BRNO, 2013

ABSTRAKT

Tato diplomová práce s názvem „Životní cyklus solární elektrárny, efektivita a návratnost“ je členěna do sedmi kapitol a zaměřuje se na využití slunečního záření ve fotovoltaických elektrárnách a solárních tepelných soustavách.

První kapitola této práce seznamuje čtenáře s problematikou týkající se obnovitelných zdrojů energie a předkládá přehled zaměření jednotlivých kapitol.

Navazující druhá kapitola je věnována rešerši aktuálního stavu využití obnovitelných zdrojů energie v Evropě. Dále zde autor prezentuje stručný ohled do minulosti využívání sluneční energie a i náhled do budoucnosti využití sluneční energie v České republice.

Kapitola nesoucí název „Specifikace a parametrizace jednotlivých technologií“ obsahuje přehled v současnosti nejpoužívanějších fotovoltaických článků a panelů spolu s přehledem používaných solárních kolektorů a solárních tepelných soustav.

V navazující kapitole nazvané „Konkretizace typických aplikací a realizací FV elektrárny a solární tep. soustavy a určení všech souvisejících parametrů“ autor popisuje další prvky fotovoltaických a solárních tepelných systémů. Je zde ukázán i ekonomický aspekt výroby fotovoltaických článků a panelů spolu s přehledem technologií používaných k výrobě fotovoltaických panelů, dále nastínění problematiky recyklace fotovoltaických aplikací a současný legislativní stav v České republice týkající se recyklace.

V páté kapitole této diplomové práce autor prezentuje matematické modely fotovoltaické elektrárny a solární tepelné soustavy se zaměřením na ekonomické aspekty hodnocení efektivity investic.

V rámci této diplomové práce byl vytvořen simulační program v programovém prostředí Mathematica. Tento program umožňuje výpočet ekonomické efektivity a návratnosti investic do fotovoltaických elektráren. Výsledky provedených simulací jsou uvedeny v šesté kapitole této diplomové práce.

Poslední sedmá kapitola této práce obsahuje zhodnocení a shrnutí autorem dosažených výsledků.

KLÍČOVÁ SLOVA: OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE; FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA; FOTOVOLTAICKÝ ČLÁNEK; FOTOVOLTAICKÝ PANEL; SOLÁRNÍ TEPELNÁ SOUSTAVA; SOLÁRNÍ KOLEKTOR; EFEKTIVITA INVESTIC; NÁVRATNOST; ČISTÁ SOUČASNÁ HODNOTA; ŽIVOTNÍ CYKLUS

ABSTRACT

This master's thesis named "The Life Cycle of Solar Power, Efficiency and Return" is divided into seven chapters and focuses on the utilization of solar radiation in photovoltaic power stations and solar thermal power stations.

The first chapter of this thesis familiarizes the reader with issues concerning renewable resources of energy and presents an overview of the focus of each chapter.

The following second chapter is occupied with a topical research of renewable resources of energy utilization in Europe. Further the author presents a brief glance back at the past of solar energy utilization and also a prediction of future solar energy utilization in the Czech Republic.

The chapter named "Specification and parameterization of individual technologies" contains an overview of today's most utilized photovoltaic cells and panels together with an overview of utilized solar collectors and solar thermal power stations.

In the following chapter named "Concretization of typical applications and realizations of photovoltaic and solar thermal power stations and determination of all related parameters" the author describes further components of photovoltaic and solar thermal systems. The economical aspect of photovoltaic component production together with an overview of utilized photovoltaic technologies is presented in this chapter. The problem of recycling photovoltaic applications and the current legislative situation regarding this issue in the Czech Republic is also outlined within this chapter.

In the fifth chapter of this master's thesis the author presents mathematical models of a photovoltaic and a solar thermal power station with the focus on economic aspects of investment efficiency assessment.

Within this master's thesis a simulation program in the computational software program Mathematica was created by the author. This program allows a calculation of economic efficiency and return of photovoltaic power station investments. The results of executed simulations are presented in the sixth chapter of this thesis.

The last chapter contains an appraisal and summary of results achieved by the author of this thesis.

KEY WORDS: RENEWABLE ENERGY RESOURCES; PHOTOVOLTAIC POWER STATION; PHOTOVOLTAIC CELL; PHOTOVOLTAIC PANEL; SOLAR THERMAL POWER STATION; SOLAR COLLECTOR; INVESTMENT EFFECTIVITY; RETURN; NET PRESENT VALUE; LIFE CYCLE

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ.....	9
SEZNAM TABULEK.....	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
1 ÚVOD.....	14
2 REŠERŠE SOUČASNÉHO STAVU PROBLEMATIKY V OBLASTI FOTOVOLTAICKÝCH SOLÁRNÍCH TECHNOLOGIÍ.....	15
2.1 Stručný ohled do minulosti	15
2.2 Současný stav využití OZE v Evropě.....	16
3 SPECIFIKACE A PARAMETRIZACE JEDNOTLIVÝCH TECHNOLOGIÍ	22
3.1 Solární tepelné soustavy.....	22
3.1.1 Typy solárních kolektorů	22
3.1.2 Typy solárních tepelných soustav	25
3.2 Fotovoltaika.....	26
3.2.1 Některé typy fotovoltaických článků	27
3.2.2 Fotovoltaické panely	29
3.2.3 Solární elektrárny, Grid-on a Grid-off systémy	30
4 KONKRETIZACE TYPICKÝCH APLIKACÍ A REALIZACÍ FV ELEKTRÁRNY A SOLÁRNÍ TEP. SOUSTAVY A URČENÍ VŠECH SOUVISEJÍCÍCH PARAMETRŮ.....	32
4.1 Další prvky fotovoltaických systémů	32
4.1.1 Akumulátory	32
4.1.2 Invertory.....	32
4.2 Ekonomický aspekt FV elektráren	33
4.3 Životní cyklus fotovoltaické elektrárny – výroba a recyklace	35
4.3.1 Výroba fotovoltaických panelů.....	35
4.3.2 Recyklace fotovoltaických panelů	38
4.4 Další prvky solárních tepelných soustav	40
4.4.1 Teplonosné médium.....	40
4.4.2 Potrubí.....	40
4.4.3 Čerpadla	41
4.4.4 Výměníky tepla	41

4.5	Umístění solárních kolektorů a účinnost	41
4.6	Vybrané solární tepelné soustavy	43
4.6.1	Maloplošné solární soustavy pro přípravu teplé vody rodinných domů	43
4.6.2	Solární soustavy pro ohřev bazénové vody	43
4.6.3	Kombinované solární soustavy pro přípravu TV a vytápění rodinných domů	44
5	MATEMATICKÉ MODELY ELEKTRÁREN A VYTVOŘENÍ SIMULAČNÍHO PROGRAMU	46
5.1	Matematický model fotovoltaické elektrárny	46
5.1.1	Ekonomické aspekty provozu FV elektrárny	46
5.2	Matematický model solární tepelné soustavy	53
5.2.1	Jednoduchý výpočet návratnosti solární tepelné soustavy	54
5.3	Vytvoření simulačního programu a jeho vzhled	57
6	PŘÍPADOVÉ STUDIE INVESTIC DO FV ELEKTRÁREN	60
6.1	Hodnocení efektivity investice do fotovoltaické elektrárny v oblasti Chvaleč - Petřkovice	60
6.2	Parametry FV elektrárny zadané do simulačního programu	60
6.2.1	Výsledky simulace a citlivostní analýzy	62
7	ZÁVĚR A ZHODNOCENÍ PRÁCE	67
	SOUPIS BIBLIOGRAFICKÝCH CITACÍ	69
	PŘÍLOHY	73
	Příloha A – Zdrojový kód simulace varianty 15.75 kW _p	73
	Příloha B – Podrobné Cash flow variant 5 kW _p , 15.75 kW _p a 30 kW _p	80
	Příloha C – Ceníky elektráren a technické parametry FV panelů	83

SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

<i>Obrázek 2-1: Celkové dopadající sluneční záření na území Evropy (4)</i>	17
<i>Obrázek 2-2: Celkové roční sluneční záření v ČR (5)</i>	19
<i>Obrázek 3-1: Rozdělení solárních kolektorů (9)</i>	22
<i>Obrázek 3-2: Příklad nekrytého kolektoru (10)</i>	23
<i>Obrázek 3-3: Schématický řez plochým solárním kolektorem (9)</i>	24
<i>Obrázek 3-4: Jednostěnná trubka s přímo protékáním U-registrem (vlevo) a tepelnou trubicí (vpravo) (9)</i>	25
<i>Obrázek 3-5: Příčné řez vakuovou Sydney trubkou s přímo protékáním U-registrem (vlevo) a tepelnou trubicí (vpravo) (9)</i>	25
<i>Obrázek 3-6: Ukázka monokrystalického a polykrystalického FV článku (12)</i>	27
<i>Obrázek 3-7: Principiální schéma fotovoltaického panelu (13)</i>	29
<i>Obrázek 3-8: Ukázka solární elektrárny - Gemasolar (Španělsko) (15)</i>	30
<i>Obrázek 3-9: Principiální schéma ostrovního systému (16)</i>	31
<i>Obrázek 3-10: Principiální schéma Grid-on systému (17)</i>	31
<i>Obrázek 4-1: Postup výroby křemíkových destiček (18)</i>	36
<i>Obrázek 4-2: Řez fotovoltaickým panelem (18)</i>	37
<i>Obrázek 4-3: Hladký a žebrovaný trubkový výměník (21), (22)</i>	41
<i>Obrázek 4-4: Soustava s bivalentním (vlevo) a předřazeným (vpravo) zásobníkem (24)</i>	43
<i>Obrázek 4-5: Soustava pro ohřev krytých bazénů (24)</i>	44
<i>Obrázek 4-6: Kombinovaná soustava se dvěma zásobníky a dodatkovými zdroji (24)</i>	45
<i>Obrázek 5-1: Fáze životního cyklu FV elektrárny</i>	46
<i>Obrázek 5-2: Vzhled vytvořeného simulačního programu</i>	59
<i>Graf 2-1: Vývoj výroby elektřiny z OZE a její podíl na hrubé domácí spotřebě (6)</i>	20
<i>Graf 2-2: Investiční náklady v ČR, prognóza a skutečnost (7)</i>	20
<i>Graf 4-1: Energie spotřebovaná na výrobu FV panelu (14)</i>	33
<i>Graf 4-2: Vliv azimutu a sklonu solárního panelu (23)</i>	42
<i>Graf 4-3: Změna sklonu plochy kolektoru během roku (23)</i>	42
<i>Graf 5-1: Pokles výroby elektrické energie v průběhu života FV elektrárny</i>	47
<i>Graf 5-2: Průběh splácení dluhu (26)</i>	50
<i>Graf 5-3: Rozdělení investičních nákladů na solární soustavu (30)</i>	54

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 2-1: Předpokládané zvýšení výkonu a výroby elektrické energie (3)</i>	16
<i>Tabulka 2-2: Předpokládaný nárůst spotřeby tepla vyrobeného z OZE (3)</i>	18
<i>Tabulka 2-3: Predikce uplatnění tepla z termosolárních panelů (5)</i>	19
<i>Tabulka 2-4: Predikce výroby elektrické energie z fotovoltaiky (5)</i>	19
<i>Tabulka 2-5: Údaje o fotovoltaiice z roku 2011 (6)</i>	19
<i>Tabulka 3-1: Účinnosti některých FV článků (11)</i>	28
<i>Tabulka 4-1: Typické energetické výnosy FV systémů (14)</i>	34
<i>Tabulka 4-2: Recyklovatelný podíl jednotlivých materiálů (19)</i>	39
<i>Tabulka 6-1: Parametry zadané do simulačního programu</i>	61
<i>Tabulka 6-2: Výsledky simulace v režimu podpory Zelený bonus</i>	62
<i>Tabulka 6-3: Výsledky simulace v režimu podpory Výkupní cena</i>	63
<i>Tabulka 6-4: Citlivostní analýza – změna dsc</i>	64
<i>Tabulka 6-5: Citlivostní analýza – možnost úvěrového financování investice</i>	65

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

a_1	Lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru
a_2	Kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru
A_k	Plocha apertury solárních kolektorů
CdS	Síran kadmína
CdTe	Kadmium-telurid
c_{en}	Cena nahrazované energie
CF	Cash flow
c_t	Smluvená tržní cena
c_{USP}	Výše úspory (cena nespoteřované el. en.)
c_v	Měrná tepelná kapacita vody
$c_{výk}$	Výkupní cena
c_{ZB}	Výše ZB
ČR	Česká republika
d	Počet dnů v kalendářním měsíci
dan	Daňová sazba
DCF	Diskontovaný Cash flow
Dot	Dotace
DP	Daň z příjmů
DPB	Diskontovaná doba návratnosti
dsc	Výnosnost
DSCR	Ukazatel krytí dluhové služby
En.	Energie
EPDM	Etylenpropylendienmonomer
ERÚ	Energetický regulační úřad
ES	Elektrická síť
EU	Evropská unie
EVA	Etylvinylnacetát
FV	Fotovoltaický
$G_{T,m}$	Střední denní sluneční ozáření
$H_{T,den}$	Skutečná denní dávka slunečního ozáření
ind	Index růstu cen

Inv	Požizovací investice
IRR	Vnitřní výnosové procento
k	Koeficient zohledňující tepelné ztráty
l	Doba splácení úvěru
N	Celkové náklady
NEK	Nezávislá energetická komise
Ni-Cd	Nikl-kadmium
N_{poj}	Náklady na pojištění elektrárny
NPV	Net Present Value
N_R	Náklady na recyklaci
NREAP	Národní akční energetický plán
n_{rec}	Měrné recyklační náklady
nsu	Roční provozní náklady
$N_{úd}$	Náklady na údržbu
Odp	Odpisy
OZE	Obnovitelné zdroje energie
p	Hodnota srážky z tepelných zisků solárních kolektorů vlivem tepelných ztrát solární soustavy
PB	Prostá doba návratnosti
PET	Polyetylentereftalát
P_p	Špičkový výkon
p_{poj}	Procento pojištění
P_{prij}	Peněžní příjem
PV	Photovoltaic
PVF	Polyvinylidenfluorid
Q_p	Celková potřeba tepla
Q_t	Teoreticky využitelné tepelné zisky
Q_z	Tepelný zisk
r	Pořadový rok
R	Roční úhrn slunečního záření
Rinv	Re-investice
rinv	Rok re-investice
S_A	Aktivní plocha panelů

S_p	Podíl vlastní spotřeby elektrické energie
S_{pl}	Pravidelná roční splátka
t	Čas
T_c	Celkové tržby při ZB
$t_{e,s}$	Střední venkovní teplota
$t_{k,m}$	Střední denní teplota teplotonosné kapaliny
T_{SV}	Termodynamická teplota studené vody
T_{TV}	Termodynamická teplota teplé vody
T_{USP}	Tržby z úspor
TUV	Teplá užitková voda
TV	Teplá voda
$T_{výk}$	Tržby za výkup
$T_{výkZB}$	Tržby za výkup při ZB
T_{ZB}	Tržby za Zelený bonus
u	Úroková míra
$Ú_m$	Úmor
$Ú_r$	Úrok
USA	Spojené státy americké
U_{sp}	Úspory
$Ú_{v0}$	Výše úvěru
val	Valorizace výkupních cen
V_d	Denní spotřeba teplé vody
ZB	Zelený bonus
Z_{cist}	Čistý zisk
ZD	Základ daně
Z_{iv}	Doba životnosti
Z_{nezd}	Nezdaněný zisk
Δ_c	Celkové ztráty systému
η	Průměrná provozní účinnost
η_0	Optická účinnost kolektoru
η_c	Celková účinnost FV soustavy
η_p	Účinnost panelů
ρ	Hustota

1 ÚVOD

Člověk, který si v dnešní době vezme k ruce odbornou publikaci zabývající se problematikou energetiky, ať už se jedná o časopis, knihu nebo odborný článek na internetu, zcela jistě v rámci velice krátkého času narazí na pojmy jako obnovitelný zdroj energie (OZE), fotovoltaika, sluneční záření, vodní energie, geotermální energie aj. Obnovitelné zdroje energie se staly denně citovaným slovním spojením většiny médií zabývajících se energetikou.

Co to vlastně jsou obnovitelné zdroje energie a pojmy s touto problematikou spjaté, nejpřesněji definuje v rámci České republiky Zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů č. 180/2005 Sb., v rámci Evropské unie potom Směrnice Evropského parlamentu a rady 2009/28/ES.

„Energii z obnovitelných zdrojů se rozumí energie z obnovitelných nefosilních zdrojů, totiž energie větrná, solární, aerotermální, geotermální, hydrotermální a energie z oceánů, vodní energie, energie z biomasy, ze skládkového plynu, z kalového plynu z čistíren odpadních vod a z bioplynů“ (1).

Autor této diplomové práce si klade za cíl na následujících stranách důkladně prozkoumat jedno odvětví využití OZE – solární energetiku. Práce je členěná do sedmi kapitol. V druhé kapitole navazující na tuto úvodní pasáž a nazvané „Rešerše současného stavu problematiky v oblasti fotovoltaických a solárních technologií“ budou prezentovány aktuální údaje k problematice OZE v celoevropském měřítku spolu s krátkým ohlédnutím do minulosti využití solární energie. V kapitole „Specifikace a parametrizace jednotlivých technologií“ nalezne čtenář základní popis v současnosti používaných fotovoltaických článků a panelů, spolu s popisem používaných solárních kolektorů a některých typů solárních tepelných soustav. V následující kapitole pak autor popíše další prvky fotovoltaických systémů a stručně nastíní i ekonomický aspekt výroby fotovoltaických článků. Stejně tak bude v této kapitole uvedena konkretizace dalších prvků solárních tepelných soustav, detailnější popis několika vybraných tepelných soustav, přehled technologií používaných k výrobě fotovoltaických panelů na počátku jeho životního cyklu a nastínění problematiky recyklace fotovoltaických aplikací spolu se současným legislativním stavem v České republice. V navazující páté kapitole této diplomové práce autor vytvoří matematické modely fotovoltaické elektrárny a solární tepelné soustavy se zaměřením na ekonomické aspekty hodnocení efektivity investic. Ve vhodném programovém prostředí bude vytvořen simulační program demonstrující tyto ekonomické vazby na konkrétních fotovoltaických aplikacích. Výsledky těchto simulací pak budou přehledně uvedeny v šesté kapitole této diplomové práce. V závěrečné sedmé kapitole této práce čtenář nalezne zhodnocení a shrnutí autorem dosažených výsledků.

2 REŠERŠE SOUČASNÉHO STAVU PROBLEMATIKY V OBLASTI FOTOVOLTAICKÝCH SOLÁRNÍCH TECHNOLOGIÍ

2.1 Stručný ohled do minulosti

Využívání energie dopadajících slunečních paprsků pro potřeby a účely lidí není fenoménem pouze několika posledních let či století. „První přímé využití sluneční energie lze datovat někdy do doby 7. století př. n. l., kdy se začalo používat zvětšovací sklo k zapálení ohně. V roce 212 př. n. l. řecký učenec Archimédés údajně použil bronzová zrcadla k zapálení římské flotily. I když k této události neexistují důkazy, roku 1973 provedlo řecké námořnictvo úspěšný experiment a na 50 metrů takto zapálilo dřevěnou loď. První solární kolektor pro ohřev vody se datuje do roku 1767 a byl sestrojen švýcarským vědcem Horacem de Saussure“ (2).

Nyní se posuneme o několik století směrem k současnosti do moderní historie fotovoltaických článků.

„O první monokrystalické křemíkové články se zasloužil polský vědec Jan Czochralski, který v roce 1918 vynalezl způsob výroby monokrystalického křemíku. V roce 1932 byl fotovoltaický jev objeven i v síranu kadmia (CdS). První monokrystalický křemíkový článek byl sestrojen v roce 1941, roku 1951 pak článek z germania. Dan Trivich v roce 1953 provedl teoretické kalkulace efektivitu solárních článků z různých materiálů a při osvětlení světlem různých vlnových délek. V roce 1954 pak vědci v Bellových laboratořích (USA) vyvinuli první křemíkové články použitelné k pohonu zařízení. Počáteční účinnost 4 % během několika měsíců zlepšili na 6 %. Později bylo dosaženo účinnosti až 11 %. K prvnímu komerčnímu využití došlo v roce 1954, kdy společnost Hoffman Electronics představila článek s účinností 2 % a špičkovým výkonem 14 MW. Cena byla 1785 USD za jeden Watt výkonu. O tři roky později tato společnost uvedla článek s účinností 8 % a o rok později pak 9 %. První solární elektrárna (o výkonu 30 kW) se objevila roku 1984 ve Velké Británii. V roce 1985 v Austrálii, na University of New South Wales, sestrojili první článek s účinností přes 20 %, nové elektrárny se objevily v Sydney a Madridu. První komerčně dostupný tenkovrstvý fotovoltaický modul uvedla v roce 1986 na trh společnost ARCO Solar pod označením G-4000. Nové tisíciletí zahajuje společnost FirstSolar (vzniklá o rok dříve sloučením tří amerických výrobců) otevřením největší továrny s kapacitou 100 MWp v Ohiu. Na oběžné dráze kosmonauti začínají instalovat největší vesmírnou fotovoltaickou elektrárnu, jejíž každé „křídlo“ bude složeno z 32 800 článků. V Německu v důsledku podpory obnovitelných zdrojů energie začínají vznikat velké výrobní společnosti a také v Japonsku nabírají v prvních dvou letech nového tisíciletí na síle společnosti Kyocera, Sharp a Sanyo. Nové tenkovrstvé moduly BP Solarex lámou rekord v účinnosti komerčních produktů hodnotou 10,8 %. Období let 2002–2003 znamená rozvoj velkých parků v Německu. Dne 29. dubna 2003 je do sítě připojen v té době největší park na světě v Hemau u Regensburgu s výkonem 4 MWp, budovaný

společností Conergy. V následujícím roce jej následuje mnoho dalších, s výkonem do 5 MW – v Geiseltalsee, Lipsku, Birstadtu, Göttelbornu a na dalších místech. V roce 2005 je v Německu nainstalováno kumulativně již 1,91 GW fotovoltaických systémů (88 % evropských instalací). V roce 2006 poprvé spotřeba polykrystalického křemíku pro fotovoltaiku překonává jeho užití v jiných odvětvích“ (2).

2.2 Současný stav využití OZE v Evropě

V Evropě, ale i na dalších kontinentech, v současnosti dochází k velikým změnám na poli energetiky a zdrojů energie. Státy Evropské unie se kupříkladu zavázaly k postupnému zvyšování podílů OZE ve svých energetických mixech. Evropská unie v roce 2009 schválila Směrnicí evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES, ve které je zakotven cíl dosažení 20 procentního podílu obnovitelných zdrojů energie na celkové spotřebě energie a 10 procentního podílu energie z OZE v dopravě. Tyto cíle jsou doplněny 20 procentním zvýšením energetické účinnosti do roku 2020. Jednotlivým státům byly stanoveny individuální cílové podíly pro rok 2020. Jak těchto podílů členské země dosáhnou, je nastíněno v Národních akčních energetických plánech (NREAP) jednotlivých států. Následující tabulka znázorňuje předpokládaný nárůst výkonu a výroby elektrické energie členských států EU v letech 2010 až 2020 vycházející ze zpráv NREAP.

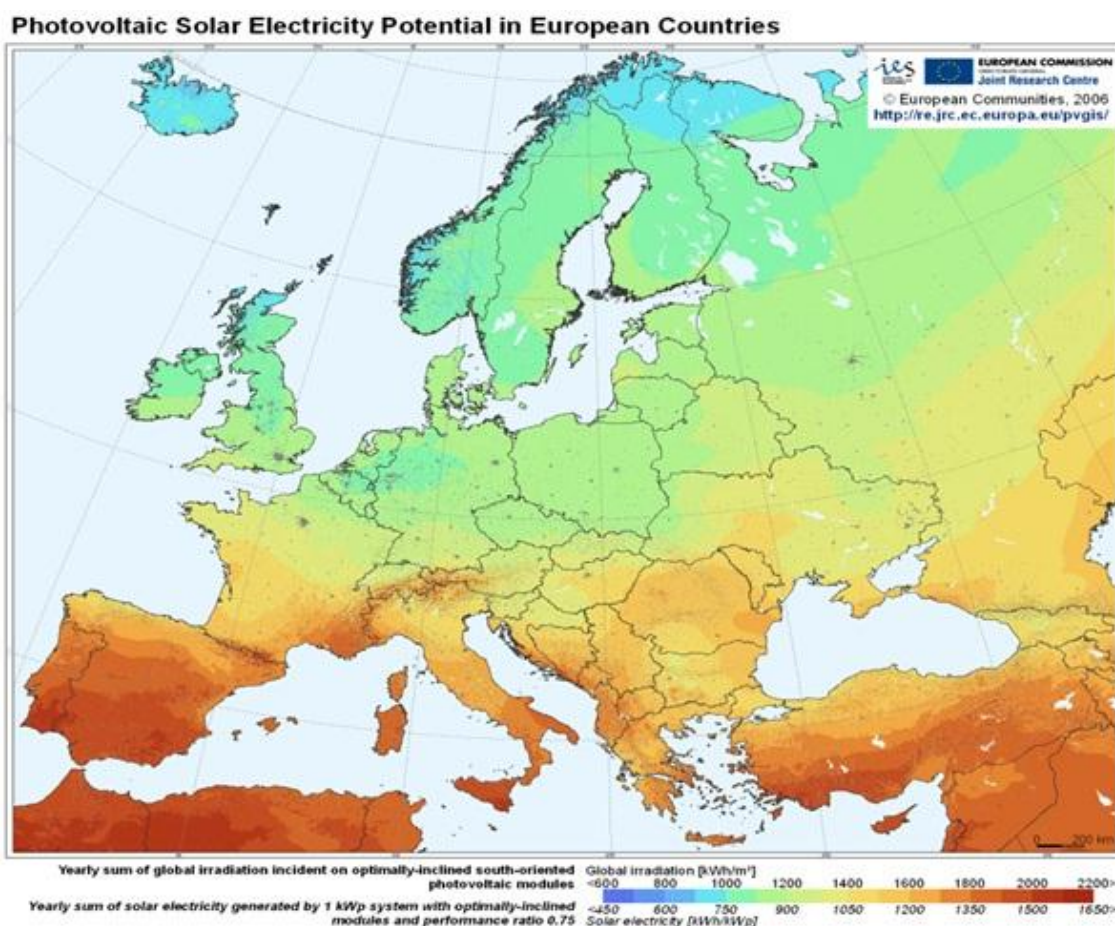
Tabulka 2-1: Předpokládané zvýšení výkonu a výroby elektrické energie (3)

Nárůst využití OZE										
	Voda		Geotermální en.		Solární en.		Vítr		Biomasa	
	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh
Belgie	27,7	77,8	3,5	29,1	990	835	3586,8	9483,5	1833,9	8031,6
Bulharsko	459	691	0	0	294	442	920	1655	158	869
ČR	78	165	4,4	18,4	45	1148	500	1042	-	4235
Dánsko	0	0	0	0	3	2	376	3107	1762	5074
Německo	257	2000	288	1627	35969	31890	18074	59767	5118	31959
Estonsko	0,6	4	-	-	-	-	503	1200	-	10
Irsko	0	0	0	0	0	0	4155	10382	133	890
Řecko	1294	1588	120	736	2266	3363	6173	13668	190	1005
Španělsko	3675	4976	50	300	8792	22108	17845	29524	835	5500
Francie	2500	2679	54	322	4896	6272	19458	46262	1955	11730
Itálie	1220	-141	166	1118	6095	9374	6880	11602	1902	10135
Kypr	-	-	-	-	261	526,5	218	467,6	11	113
Lotyšsko	14	145	-	-	2	4	388	852	187	1154
Litva	14	38	0	0	9	15	321	953	190	1076
Lucembursko	6	17	0	0	86	64	96	179	46	264
Maďarsko	15	44	57	410	63	79	420	853	226	1369
Malta	-	-	-	-	23,8	36,5	109,6	254,7	19,7	126,8
Nizozemí	156	586	0	0	629	483	8957	27938	1462	10664
Rakousko	762	3570	0	0	232	221	1567	2777	70	427

Polsko	200	690	0	0	2	2	5550	12900	2150	8190
Portugalsko	4614	4332	50	325	1344	2245	2619	4382	305	1116
Rumunsko	1316	3201	-	-	260	320	3440	7940	586	2833
Slovinsko	283	923	0	0	127	127	104	189	45	378
SR	190	596	4	30	240	270	345	553	162	1080
Finsko	50	200	0	0	10	-	2330	5730	1130	4820
Švédsko	10	-3249	-	-	2,7	2,6	2674	7707	231	6122
VB	1720	5210	-	-	2630	2200	22450	64120	2320	13830

Jak je z výše uvedené tabulky patrné, některé státy EU očekávají veliký nárůst instalovaných výkonů. Všem vévodí Spolková republika Německo, která do roku 2020 chce oproti roku 2010 navýšit instalovaný výkon solárních elektráren o necelých 36 GW a dosáhnout tak zvýšení výroby elektrické energie o 32000 GWh. S ohledem na roční dopadající sluneční záření hodljají také některé státy jižní Evropy (Francie, Itálie, Španělsko) výrazně zvýšit své podíly v solární energetice. Že tyto státy mají pro navyšování podílů výroby energie v solárních elektrárnách poměrně dobré podmínky, ilustruje následující obrázek. Jedná se celkové dopadající sluneční záření za jeden rok na optimálně nakloněných jižně orientovaných fotovoltaických panelech v kWh/m². Zároveň je znázorněna roční výroba elektrické energie v kWh, vyrobená fotovoltaickým systémem o výkonu 1 kW.

Obrázek 2-1: Celkové dopadající sluneční záření na území Evropy (4)



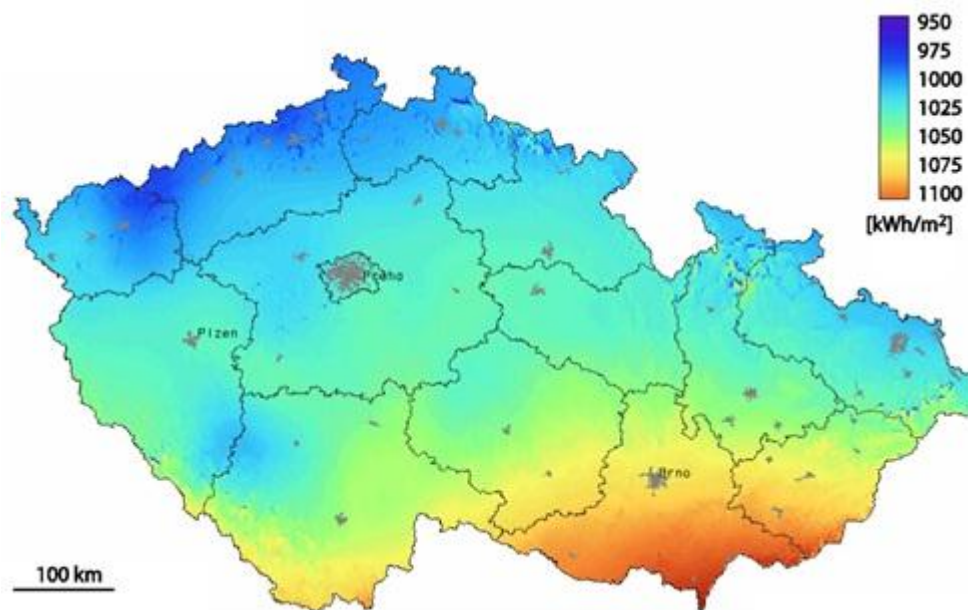
I výroba tepla z OZE se má do roku 2020 výrazně zvýšit. V následující tabulce je uveden předpokládaný nárůst spotřeby tepla vyrobeného z OZE mezi roky 2010 a 2020.

Tabulka 2-2: Předpokládaný nárůst spotřeby tepla vyrobeného z OZE (3)

Spotřeba tepla				
	Geoterm. en.	Solár. en.	Biomasa	Tep. čerp.
	ktoe	ktoe	ktoe	ktoe
Belgie	2,5	169,7	1351,9	297,8
Bulharsko	8	15	339	0
ČR	15	15	758	73
Dánsko	0	5	398	160
Německo	652	805	2263	679
Estonsko	-	-	-5	-
Irsko	0	16	288	66
Řecko	27	139	210	262
Španělsko	5,7	484	1367	33,4
Francie	345	797	6502	964
Itálie	74	1473	3431	1627
Kypr	-	31,5	11,9	2,7
Lotyšsko	-	2	372	4
Litva	2	9	360	14
Lucembursko	0	7,3	60,6	14,6
Maďarsko	256	76	465	137
Malta	-	0,3	0,7	-
Nizozemí	220	3	254	245
Rakousko	21	142	192	167
Polsko	155	485	1178	123
Portugalsko	15	110	143	-
Rumunsko	-	-	-	-
Slovinsko	2	16	111	50
SR	87	28	243	9
Finsko	0	0	1620	430
Švédsko	-	0	1609	697
VB	-	0	3591	2068

V závěrečné zprávě tzv. Nezávislé energetické komise (NEK) je nastíněn předpokládaný vývoj využití solárních technologií v České republice až k roku 2030 a dále k roku 2050. Jak je patrné z následujícího obrázku, na povrch jednoho metru čtverečního České republiky dopadá ročně přibližně od 950 kWh do 1100 kWh energie ve formě slunečního záření. Na celé území ČR pak dopadá ročně okolo 80000 TWh energie. Člověk se toto veliké množství energie snaží co nejlépe využívat pro své účely a mění ji na energii tepelnou, elektrickou, mechanickou a na energii chemickou (5).

Obrázek 2-2: Celkové roční sluneční záření v ČR (5)



Nejrozšířenějším využitím termosolárních systémů je příprava teplé vody. NEK zpracovala predikci uplatnění tepla z termosolárních panelů do roku 2050.

Tabulka 2-3: Predikce uplatnění tepla z termosolárních panelů (5)

Rok	2005	2015	2020	2030	2040	2050
Výroba tepla (PJ)	0,1	1,03	2,25	4,12	6,25	8,3

Obdobně vypracovala NEK i predikci vývoje výroby elektřiny z fotovoltaických panelů do roku 2050.

Tabulka 2-4: Predikce výroby elektrické energie z fotovoltaiky (5)

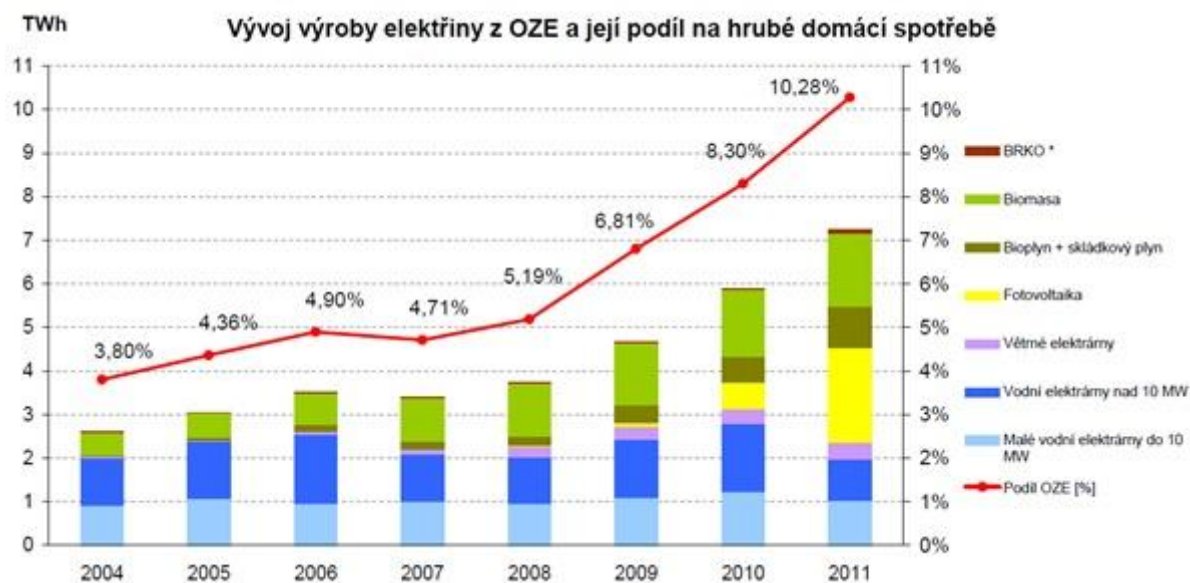
Rok	2007	2015	2020	2030	2040	2050
Výroba elektřiny (PJ)	0,02	0,5	0,98	5,67	12,34	18,24

Ze statistik ERÚ pak můžeme vysledovat obdobný trend růstu využití fotovoltaických a solárních systémů v České republice. Roční zpráva provozu ES ČR za rok 2011 dále uvádí údaje shrnuté v následující tabulce.

Tabulka 2-5: Údaje o fotovoltaice z roku 2011 (6)

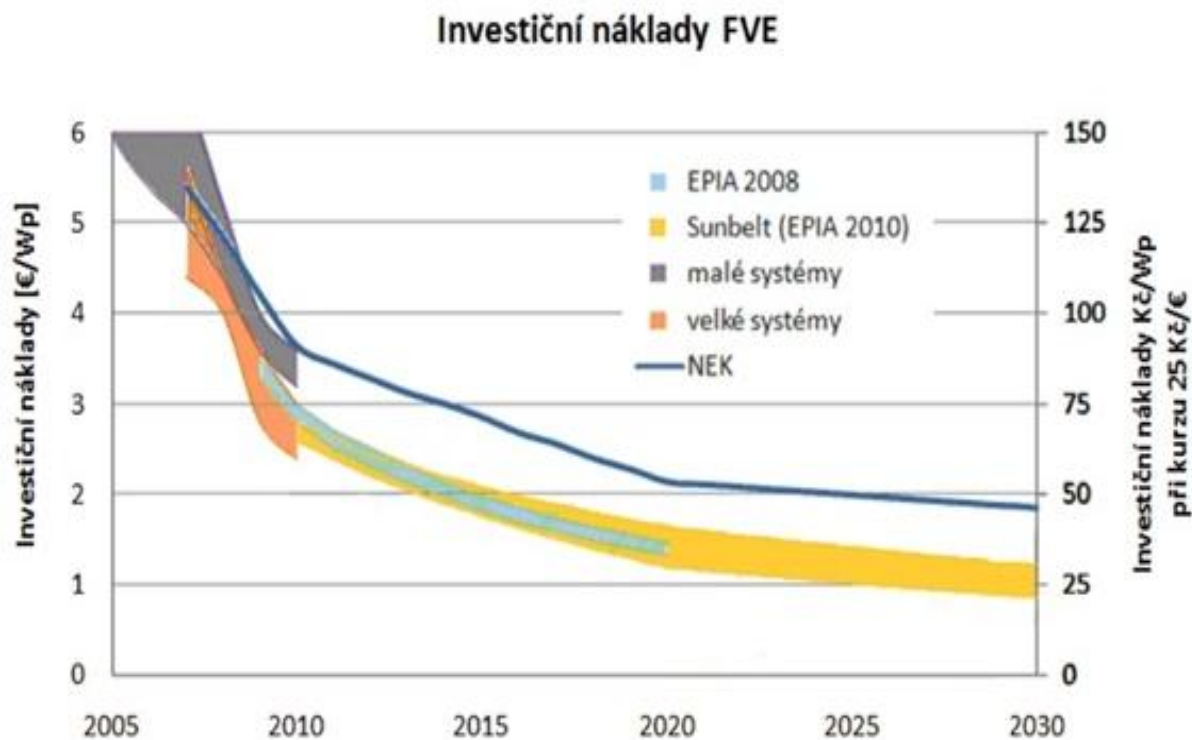
Výroba elektřiny brutto	2118 GWh
Instalovaný výkon	1971 MW
Podíl na celkovém instal. výkonu	9,7 %

Graf 2-1: Vývoj výroby elektřiny z OZE a její podíl na hrubé domácí spotřebě (6)



Pačesova Nezávislá energetická komise byla ve svých odhadech týkajících se budoucího využití fotovoltaických a solárních systémů ve srovnání se současným stavem z roku 2011 poměrně opatrná. Místo komisí odhadované výroby elektřiny 200 GWh pro rok 2011 uvádí ERÚ hodnotu více než desetkrát vyšší, sice 2118 GWh. Tento nepřesný odhad NEK je zapříčiněn zejména prudkým a v minulosti neočekávaným poklesem investičních nákladů na jednotku instalovaného výkonu fotovoltaických elektráren v minulých letech.

Graf 2-2: Investiční náklady v ČR, prognóza a skutečnost (7)



V grafu pod pojem „malé systémy“ spadají systémy do 30 kW_p, „velké systémy“ jsou systémy nad 1 MW_p, „EPIA“ je systém s 1 MW_p.

Veliká podpora instalací fotovoltaiky a přesun výrobních kapacit do asijských zemí vedly ke snížení cen panelů a dalších komponent fotovoltaických systémů. Prudký nárůst instalací především velkých solárních parků si vynutil vyhlášení tzv. „stop stavu“ na roky 2010 a 2011. Za tohoto stavu nebylo povoleno připojovat nové instalace do distribuční sítě a zamezilo se tak dalšímu růstu instalací fotovoltaických systémů. Od začátku roku 2012 dochází ke zrušení stop stavu, připojování nových fotovoltaických elektráren je však značně omezeno. Maxiální připojitelný výkon elektráren činí 30 kW_p a systém musí být umístěn na střeše nebo stěně budovy zapsané v katastru nemovitostí. Přesto nebo právě proto ilustrují výše uvedené grafy a tabulky fakt, že využití fotovoltaických a solárních systémů bude v příštích letech a desetiletích i přes různá dočasná omezení stoupat. Z tohoto důvodu by bylo dobré mít o v současnosti využívaných technologiích určitý přehled. Vytvoření přehledu používaných technologií se věnují následující kapitoly této práce.

3 SPECIFIKACE A PARAMETRIZACE JEDNOTLIVÝCH TECHNOLOGIÍ

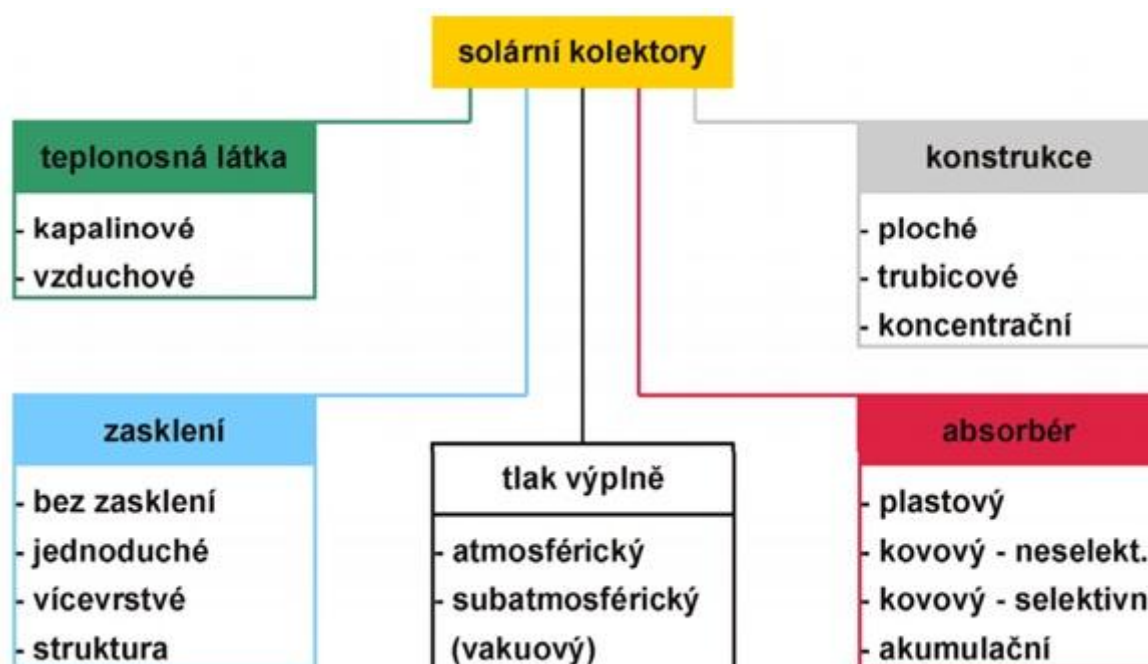
3.1 Solární tepelné soustavy

Základní princip využití slunečního záření v solárních tepelných soustavách se nazývá „fototermální přeměna“ (8), dochází tedy k přeměně energie slunečního záření na tepelnou energii. K této změně formy energie dochází v solárním kolektoru, který je součástí solárních systémů. Kolektorem protéká teplotně nosné médium, kterému je energie předávána. Dle Matušky (8) je nejpoužívanější teplotně nosnou látkou kapalina – voda nebo nemrznoucí směs vody a propylenglykolu. Existují však i kolektory, které jako teplotně nosné médium využívají vzduch.

3.1.1 Typy solárních kolektorů

Matuška uvádí následující schéma rozdělení solárních kolektorů:

Obrázek 3-1: Rozdělení solárních kolektorů (9)



Matuška (8) dále uvádí, že mezi nejpoužívanější typy kolektorů patří ploché nekryté kolektory (bazénové rohože), ploché atmosférické selektivní kolektory a trubkové (trubicové) vakuové kolektory. V jiných státech jsou rozšířené i koncentrační kolektory (Španělsko aj.), na českém trhu je jejich podíl ale zatím mizivý.

Ploché nekryté (nezasklené) kolektory

Jedná se nejčastěji o kolektory využívané k ohřevu bazénové vody o nízkých teplotách. „Absence krytu (zasklení) zlepšuje optické vlastnosti kolektoru (odpadá odraz na zasklení), nicméně na druhé straně kolektor vykazuje vysoké tepelné ztráty“ (8). U zasklených kolektorů

totiž vzniká vzduchová mezera mezi krytem a absorbérem, která zamezuje tepelným ztrátám absorbéru. Absence této vzduchové vrstvy vystavuje absorbér vlivům povětrnostních podmínek a především vítr výrazně zvyšuje tepelné ztráty a snižuje účinnost přeměny sluneční na tepelnou energii. Nejpoužívanější materiály nezasklených kolektorů jsou plasty odolávající ultrafialovému záření a chemickému ošetření bazénové vody.

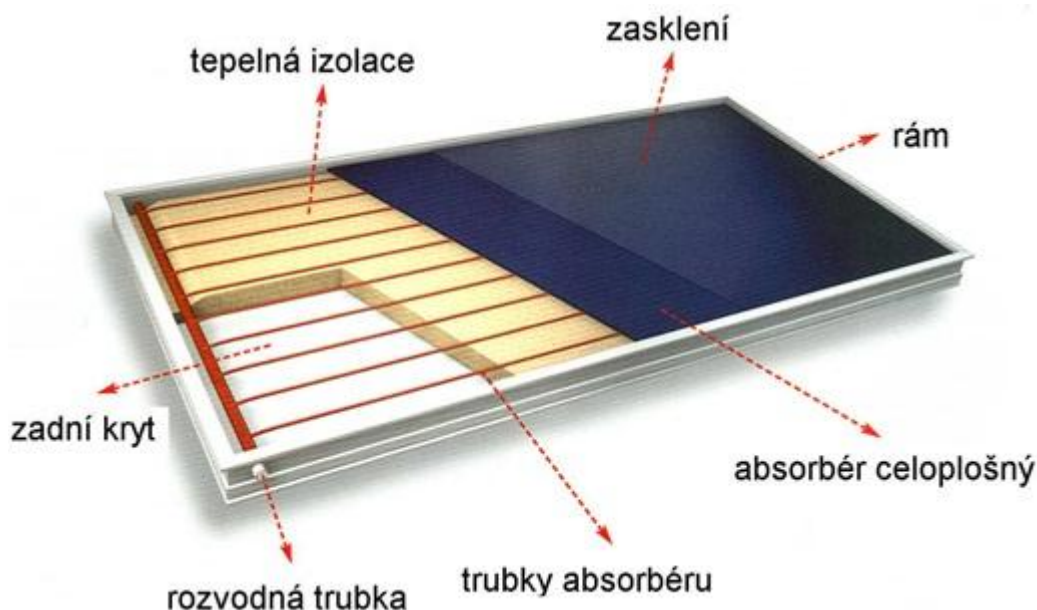
Obrázek 3-2: Příklad nekrytého kolektoru (10)



Ploché atmosférické kolektory

„Absorbér tohoto typu kolektorů je zpravidla kovový, vyrobený z tepelně vodivých materiálů (měď, hliník, ojediněle ocel) a jejich kombinací. Absorbér může být celoplošný (tvořený jedním plechem) nebo dělený (lamely)“ (8). Atmosférickými se tyto kolektory nazývají proto, že tlak vzduchu je v kolektorovém rámu shodný s tlakem venkovního prostředí. Rám kolektoru může být tepelně izolován pro snížení tepelných ztrát. Teplonosná kapalina proudí skrz systém trubek, na který je ultrazvukově nebo laserově navařen, napájen nebo nalisován absorbér. Tento typ kolektorů nalézáme nejčastěji na střeších nebo fasádách budov.

Obrázek 3-3: Schématický řez plochým solárním kolektorem (9)



Ploché vakuové kolektory

Vakuové kolektory obsahují v kolektorové skříni nízké vakuum neboli tlak vzduchu snížený na hodnotu 1 kPa až 10 kPa (8). Vakuum zamezí vzduchovému proudění uvnitř kolektorového rámu a výrazně tak sníží tepelné ztráty. Pro zachování pevnosti kolektorového skla se používá podpurných elementů, které sklo podírají a zamezí tak jeho prasknutí vlivem vnějšího atmosférického tlaku. Rám těchto kolektorů je vybaven ventilem, který umožňuje opětovné vyčerpávání vzduchu z kolektoru. Pro další snížení tepelných ztrát je možné nahradit zbytkový vzduch vzácným plynem s nízkou tepelnou vodivostí.

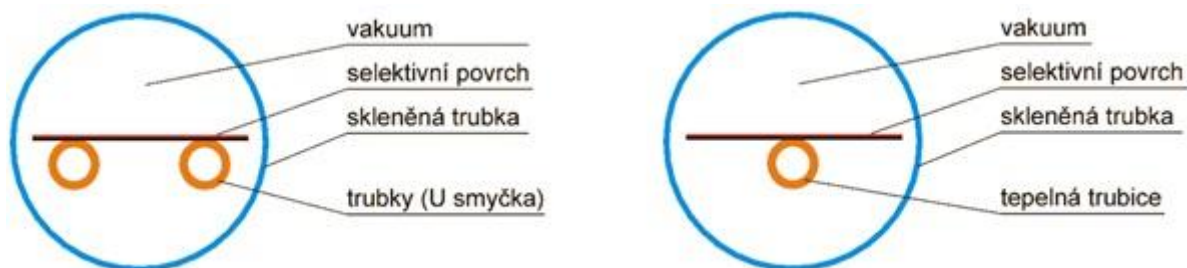
Trubkové vakuové kolektory

Jedná se o kolektory s válcovým zasklením s velmi nízkým tlakem (až 10^{-3} Pa) (8) mezi zasklením a absorpérem. K přenosu tepla mezi absorpérem a zasklením pak dochází zejména sáláním. Ostatní druhy přenosu tepla (vedením a konvekcí) jsou díky nízkému tlaku a nepřítomnosti molekul plynů téměř eliminovány. Pro eliminaci zbytkových plynů ve vakuovém prostoru těchto kolektorů se používají tzv. getry. Jedná se o kovy, které na sebe po zahřátí a vypaření naváží zbytkové plyny a snižují tak tepelné ztráty. Tyto getry pak dokáží i pomocí zabarvení indikovat kvalitu přítomného vakua, po vniknutí většího množství vzduchu totiž mění svou barvu a změna tlaku vzduchu v kolektorech je tak vizuálně kontrolovatelná. Díky hlubokému vakuu může tento druh kolektorů být použit i pro vysoké provozní teploty. Na základě konstrukčního provedení lze dle Matušky (8) rozlišit dva základní konstrukční typy:

- Trubkové kolektory s jednostěnnou trubkou („evropský“ typ)
„Tento tradiční typ vakuových kolektorů využívá jednoduché uzavřené skleněné trubky, ve které je umístěna plochá lamela absorpéru se selektivním povrchem. Odvod tepla

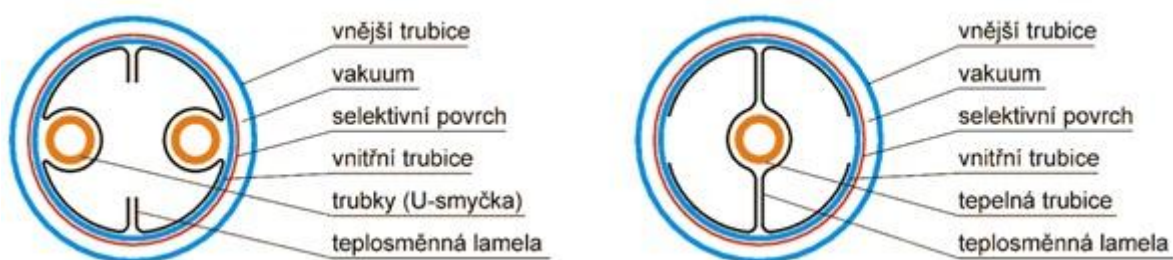
z absorberu je zajišťován tepelnou trubicí, přímo protékáním U-registrem nebo přímo protékáním koncentrickým potrubím“ (8). Tyto kolektory vykazují vysokou účinnost, nevýhodou pak je zejména jejich vysoká cena, způsobená vysokými výrobními náklady. Níže jsou uvedeny schematické příčné řezy výše popsaných kolektorů:

Obrázek 3-4: Jednotěnná trubka s přímo protékáním U-registrem (vlevo) a tepelnou trubicí (vpravo) (9)



- Trubkové kolektory dvojitěnnou trubicí („čínský“ typ)
Tyto kolektory využívají dvojitěnné trubky, která bývá nazývána „Sydney trubka“. Vnitřní absorpční trubka slouží k přeměně sluneční energie na tepelnou a vnější vrstva má ochrannou funkci, chrání před povětrnostními vlivy. Kolektory využívající Sydney trubek se vyrábí především v Číně, odtud také pochází jejich název. Jelikož nároky na kvalitní vakuum u těchto kolektorů nejsou tak vysoké jako u kolektorů s jednotěnnými trubicemi, jsou jejich investiční náklady nižší.
Níže jsou opět uvedeny schematické příčné řezy výše popsaných kolektorů:

Obrázek 3-5: Příčné řez vakuovou Sydney trubicí s přímo protékáním U-registrem (vlevo) a tepelnou trubicí (vpravo) (9)



3.1.2 Typy solárních tepelných soustav

Solární tepelné soustavy můžeme dle Matušky (8) rozdělit z několika hledisek:

- Podle aplikace (spotřebiče):
 - soustavy pro ohřev bazénové vody (do 35 °C)
 - soustavy pro přípravu teplé vody (do 70 °C)
 - kombinované soustavy pro přípravu teplé vody a vytápění (do 80 °C)
 - soustavy pro CZT s různým stupněm akumulace (sezónní)
 - solární chlazení a klimatizace (do 150 °C)

- průmyslové solární soustavy (technologické teplo do 250 °C)
- solární tepelné elektrárny (vysokoteplotní, 300 až 600 °C)
- solární teplovzdušné soustavy (sušení, větrání)
- Podle velikosti kolektorové plochy:
 - malé soustavy (< 20 m², rodinné domy, malé firmy)
 - střední soustavy (< 200 m², zdravotnická a sociální zařízení, pečovatelské ústavy, sportovní zařízení a plovárny, hotely, školy s celoročním provozem)
 - velké soustavy (> 200 m², soustavy centrálního zásobování teplem, vytopy pro sídliště, potravinářský a chemický průmysl, sportovní stadiony)
- Podle měrného průtoku teplonosné kapaliny kolektory:
 - s vysokým průtokem (high-flow): 50 až 90 l/(h.m²)
 - s nízkým průtokem (low-flow): 10 až 20 l/(h.m²)
 - s proměnným průtokem (matched-flow) 10 až 40 l/(h.m²)
- Podle konstrukce:
 - Soustavy uzavřené
 - Soustavy vyprazdňovací

3.2 Fotovoltaika

Za padesát let své existence, bylo vyvinuto již mnoho typů fotovoltaických (FV) článků a nesčetně různých konstrukcí. Murtinger a kol. (11) uvádí pro přehlednost následující generace fotovoltaických článků:

- Články první generace

„Jde o FV články vyráběné z destiček monokrystalického křemíku, v nichž je vytvořen velkoplošný p-n přechod. Tento typ se vyznačuje dobrou účinností a dlouhodobou stabilitou výkonu. Nevýhodou tohoto typu článků je relativně velká spotřeba velmi čistého, a tedy drahého křemíku a poměrně velká náročnost výroby“ (11).
- Články druhé generace

Vyznačují se použitím tenkovrstvých článků ve snaze o snížení množství potřebného křemíku a s tím související zlevnění výroby. Oproti článkům první generace mají nižší účinnost a i menší životnost. Běžně se používají články z polykrystalického, amorfního nebo mikrokystalického křemíku. Jejich výhodou je možnost vyrábět pružné a ohebné FV články, což zajišťuje širší možnost aplikací.
- Články třetí generace

Jedná se o FV články skládané z více vrstev. Každá vrstva využívá jinou část slunečního spektra a dosahuje se tak velice širokého využití slunečního spektra. Dále do této generace spadají např. organické články a články s vícenásobnými pásy. Tyto technologie však v současnosti nejsou rozvinuty pro komerční využití.

Většina komerčně dostupných FV článků se vyrábí z křemíku. To, že křemík je v současnosti nejvíce používaným materiálem, souvisí do značné míry s tím, že se z něj vyrábí většina polovodičových součástek a technologie výroby křemíku potřebné čistoty je dobře zvládnutá. Poměrně vysoká cena tohoto materiálu je dána především požadavkem na velmi vysokou čistotu materiálu.

3.2.1 Některé typy fotovoltaických článků

Křemíkové monokrystalické články

Jak uvádí Murtinger a kol. (11), jedná se o nejstarší typ FV článků, rozměr krystalů je v řádu 10 cm. „*Krystal se vyrábí z tyčí (ingotů) polykrystalického křemíku zpravidla Czochralského metodou, tj. pomalým tažením zárodku krystalu z taveniny velmi čistého křemíku*“ (11). Takto vzniklý ingot se rozřeže na tenké plátky, které se následně rovnoměrně zarovnájí a na povrchu odleptají. Přidáním fosforu se na destičkách vytvoří polovodičový p-n přechod.

Polykrystalické křemíkové FV články

Tento typ FV článků je dnes velice rozšířený. Vyrábí se odléváním čistého křemíku do forem a následným rozřezáním odlitků na tenké plátky. Oproti výrobě metodou tažení křemíku je tento způsob výroby podstatně levnější, nedosahuje však tak vysokých účinností jako články monokrystalické. Výhodou je i možnost odlévání přesných tvarů, např. obdélníky nebo čtverce.

Obrázek 3-6: Ukázka monokrystalického a polykrystalického FV článku (12)



FV články z amorfního křemíku

Tyto články se vyrábějí pomocí rozkladu vhodných sloučenin křemíku ve vodíkové atmosféře a následným nanesením na vhodnou podložku. Díky této technologii je možné vyrobit velice tenké a pružné FV články vhodné na použití jako krycí folie střech nebo našité na oblečení (11). Uspořádání takto vyrobených křemíkových vrstev je amorfní, to znamená, že nemají pravidelnou krystalickou strukturu. Nepravidelnost struktury vede k nižší účinnosti přeměny slunečního záření na elektrickou energii. Zvýšení účinnosti těchto článků se dá

docílit vytvářením vícevrstevných struktur. Výhodou jsou však znatelně menší spotřeba křemíku na výrobu článků a z toho plynoucí nižší výrobní náklady.

Murtinger a kol. uvádí následující účinnosti těchto nejběžnějších FV článků:

Tabulka 3-1: Účinnosti některých FV článků (11)

Typ	Obvyklá účinnost	Maximální laboratorní účinnost
	(%)	(%)
Monokrystalický křemík	14 - 17	25
Polykrystalický křemík	13 - 16	20
Amorfní křemík	5 - 7	12

Mezi nové a zatím nepříliš komerčně využívané FV články a materiály řadí Murtinger a kol. (11) materiály galiumarsenid, diselenid mědi a india, telurid kadmia, články využívající organické látky, fotogalvanické články s organickým barvivem, využití nanostruktur, fotogalvanické články z vodivých polymerů a vícepřechodové struktury. Stručnou charakteristiku některých těchto „technologií budoucnosti“ autor této diplomové práce uvádí níže.

Monokrystalické FV články s galiumarsenidem

Jedná se o využití arsenidu galitého (GaAs). Tento typ článků se vyznačuje vysokou absorpcí slunečního záření a nižší negativní závislostí na provozní teplotě. Užití proto nachází tato sloučenina ve fotovoltaiických systémech s koncentrátory záření, kde dochází k vývinu velmi vysokých teplot. Nevýhodou je opět vysoká cena galia a jedovatost arsenu.

Tenkovrstvé články s teluridem kadmia

Hlavní výhodou těchto tenkovrstvých článků je jejich nízká výrobní cena a s tím související krátká doba energetické návratnosti. Absorptivita slunečního záření je však při využití této sloučeniny nižší, než při použití klasického křemíku.

FV články s organickými látkami

Jedním ze zástupců těchto článků jsou např. Graetzelovy články, které jsou ve srovnání s klasickými články méně náročné na čistotu použitých materiálů. Jedním z nedostatků článků s organickými látkami je jejich postupný rozklad za působení slunečního záření.

Vícepřechodové struktury

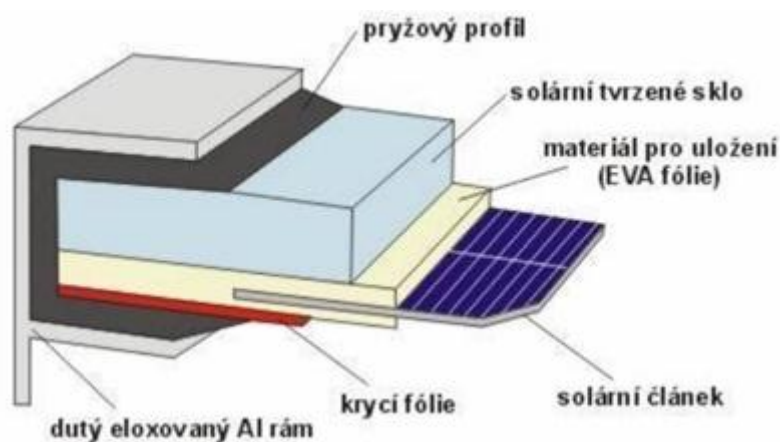
Tyto články jsou složeny z více vrstev p-n přechodů, přičemž každá vrstva je optimalizována na využití určité části slunečního spektra. Je tak možné dosáhnout podstatně lepšího využití dopadajícího slunečního záření a tím zvýšit účinnost přeměny energie slunečního záření na elektrickou energii. Pokud mají totiž fotony dopadajícího slunečního záření nižší energii než je šířka zakázaného pásu použitého p-n přechodu, projdou tyto fotony článkem bez předání své energie. U fotonů s vyšší energií se naopak nevyužívá celá jejich

energie, část energie se přemění na teplo, které se dále nevyužívá. „V praxi se proto využívají vrstvené struktury, kde ve vrchní vrstvě je polovodič zachycující fotony s vyšší energií a propouštějící fotony s energií nižší, které jsou pak zachyceny dalším polovodičem v nižší vrstvě“ (11). Cena těchto článků je pak samozřejmě vzhledem k jejich složitosti vyšší.

3.2.2 Fotovoltaické panely

Drahé, citlivé a komplikované FV články je nutno chránit před znečištěním, korozí a povětrnostními podmínkami prostředí. Dále potom je výstupní napětí jednoho článku nízké, jednotlivé články je nutné zapojovat do série pro zvýšení napětí. Sériovému zapouzdřenému zapojení FV článků se říká fotovoltaický panel (modul). „Nejčastěji se na horní stranu modulu dává kalné sklo, které v kombinaci s pevným hliníkovým (duralovým) rámem zajistí dostatečnou pevnost a mechanickou odolnost. Moderní články mají antireflexní vrstvu snižující odraz světla a zvyšující tak účinnost i o několik procent. Těsnost modulu zajišťuje vakuová laminace s použitím folií EVA (etylen-vinyl acetátového kopolymeru). Na zadní stranu může také přijít sklo nebo se častěji používá fólie Tedlaru (fluor polymer, který je nepropustný pro vodní páru a velmi odolný vůči UV záření“ (11). Níže je uvedeno principiální schéma FV panelu s popisem jednotlivých vrstev.

Obrázek 3-7: Principiální schéma fotovoltaického panelu (13)



Neustále se dnes pracuje na zdokonalení fotovoltaických panelů. Existuje několik možností zvýšení účinnosti FV modulů. Mezi ty nejrozšířenější patří použití dokonalejších antireflexních vrstev, použití průhledných sběrných kontaktů na vrchní straně modulu (aby nedocházelo k částečnému zastínění modulu), použití tzv. oboustranných FV modulů na střeších s vysokou odrazivostí dopadajícího záření, natáčení modulů za účelem zachování optimálního úhlu dopadu slunečního záření na panely po celý den a rok a použití tzv. koncentrátorů. Ty mají za úkol soustředit dopadající sluneční záření na malou plochu panelu a zvýšit tak jeho výkon.

3.2.3 Solární elektrárny, Grid-on a Grid-off systémy

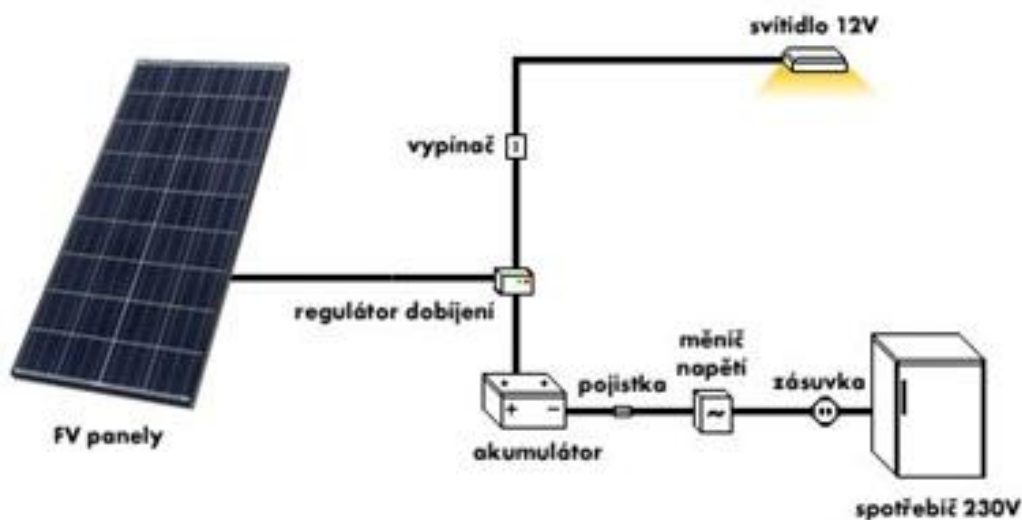
V tzv. solárních elektrárnách se využívá koncentrace slunečních paprsků do jednoho místa, ve kterém následně dochází k tvorbě páry. Tato pára pohání parní turbínu, která roztáčí elektrický generátor vyrábějící elektrický proud. Jedná se tedy o nepřímý způsob přeměny energie slunečního záření na elektřinu. Několik takových elektráren s maximálními výkony mezi deseti a třiceti megawatty pracuje dle Libry a Poulka (14) v Kalifornii a Novém Mexiku, některé jsou i v Evropě (Španělsko). Teplota emisní páry dosahuje hodnoty 560 °C a tyto elektrárny dosahují účinnosti okolo 17 %. Vývoj a rychlost rozšiřování těchto elektráren však není valná. Ačkoliv tato technologie vypadala v minulosti slibně, k velikému rozšiřování nedochází především díky vysoké náročnosti na přesnost při nastavování zrcadel soustřeďujících sluneční paprsky do parogenerátoru. Dalším problémem je dle Libry a Poulka (14) nutnost čistit velké plochy zrcadel a značná náchylnost těchto zrcadel k poškození vnějšími vlivy.

Obrázek 3-8: Ukázka solární elektrárny - Gemasolar (Španělsko) (15)



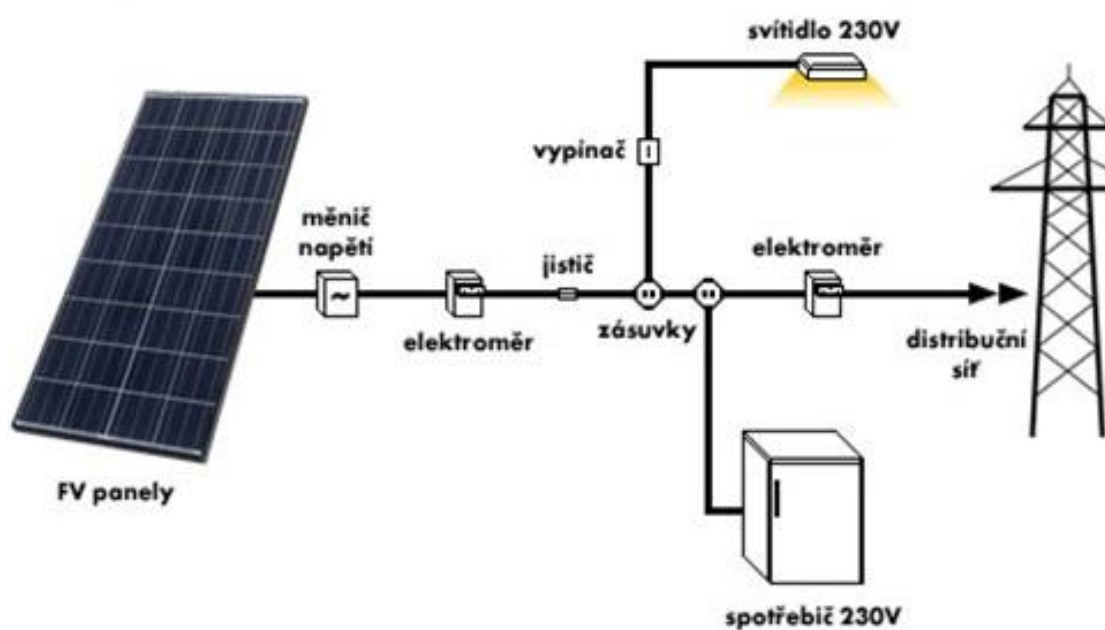
Mnohem rozšířenější způsob přeměny sluneční energie na elektrickou je využití FV panelů, čili přímá konverze těchto forem energie. Solární elektrárny s FV panely existují v širokém rozmezí výkonů, od jednotek kW_p (a i menších) po elektrárny s výkony desítky MW_p. Tyto elektrárny je možné konstruovat jako systémy s ostrovním (Grid-off) provozem, kdy elektrárna není připojena na distribuční elektrickou síť. Takové uspořádání se používá zejména na odlehlých místech k zásobování chat, chalup nebo i jacht elektrickou energií. Vyrobenu elektrickou energii je možné skladovat v akumulátorech a pro napájení střídavých spotřebičů je možné v panelech vzniklý stejnosměrný elektrický proud rozstřídat. Principiální schéma ostrovního systému je uvedeno níže.

Obrázek 3-9: Principiální schéma ostrovního systému (16)



Oproti Grid-on systémy jsou napojeny na veřejnou rozvodnou síť, přičemž v době přebytku vlastního výkonu mohou do sítě energii dodávat a při nedostatku vlastního výkonu elektickou energii ze sítě odebírat. Hlavním motivem instalace tohoto systému je úspora nebo i zisk plynoucí z takovéto investice. V Evropě je rozšířený systém tzv. zelených bonusů, kdy výrobce elektřiny z FV panelů získává za vyrobenou elektřinu finanční motivaci a v případě dodávky elektřiny do rozvodné sítě i cenu silové elektřiny. V případě, že do rozvodné sítě elektřinu nedodává, šetří alespoň náklady na odebranou elektřinu, jelikož si ji částečně vyrábí sám. Principiální schéma tohoto systému je opět uvedeno níže.

Obrázek 3-10: Principiální schéma Grid-on systému (17)



4 KONKRETIZACE TYPICKÝCH APLIKACÍ A REALIZACÍ FV ELEKTRÁRNY A SOLÁRNÍ TEP. SOUSTAVY A URČENÍ VŠECH SOUVISEJÍCÍCH PARAMETRŮ

4.1 Další prvky fotovoltaických systémů

Pouhý fotovoltaický panel s FV články na výrobu a využití elektrické energie nestačí. Jsou k tomu potřeba další prvky FV systémů, mezi které se řadí akumulátory, měniče, invertory, transformátory, odpojovače zátěže a pojistná a měřicí zařízení. Všechny tyto výše uvedené komponenty mají vliv na výslednou energetickou bilanci systému a samozřejmě taky na vstupní a provozní náklady.

4.1.1 Akumulátory

Jak uvádí Murtinger a kol. (11), nutnost použití akumulátorů elektrické energie u Grid-off systémů znatelně zvyšuje jejich vstupní investiční náklady oproti systémům Grid-on, kde akumulární zařízení není nutnou podmínkou provozu. Cena akumulátoru totiž tvoří asi jednu třetinu ceny celého systému a navíc životnost akumulátorů je podstatně nižší, než životnost FV panelů (asi 5 až 10 let oproti minimálně 20 let životnosti FV panelů).

Olověné akumulátory

Jedná se o nejčastěji používaný typ akumulátorů s nízkým samovybíjecím efektem a uzpůsobením k hlubokému vybíjení. Murtinger a kol. (11) uvádí, že technologie výroby těchto akumulátorů je již dobře zvládnutá a neočekávají se tak v blízké budoucnosti převratné změny u této technologie. Existuje mnoho provedení olověných akumulátorů, např. staniční baterie složené z jednotlivých článků o napětí 2 V a umožňující tak rychlou a jednoduchou výměnu vadného článku. Dále potom např. šestičlávkové s napětím 12 V používané především u menších systémů.

Alkalické akumulátory

Z alkalických akumulátorů nachází uplatnění ve fotovoltaických systémech akumulátory nikl-kadmiové (Ni-Cd) s kapsovými elektrodami. Murtinger a kol. (11) k výhodám těchto akumulátorů řadí jejich vysokou životnost (10 až 20 let), k nevýhodám potom paměťový efekt při neúplném vybíjení a vyšší samovybíjecí efekt.

K dalším typům akumulátorů nacházející využití v některých FV aplikacích patří Lithium-iontové baterie. Pro svou nízkou hmotnost se používají např. v závodních solárních automobilech.

4.1.2 Invertory

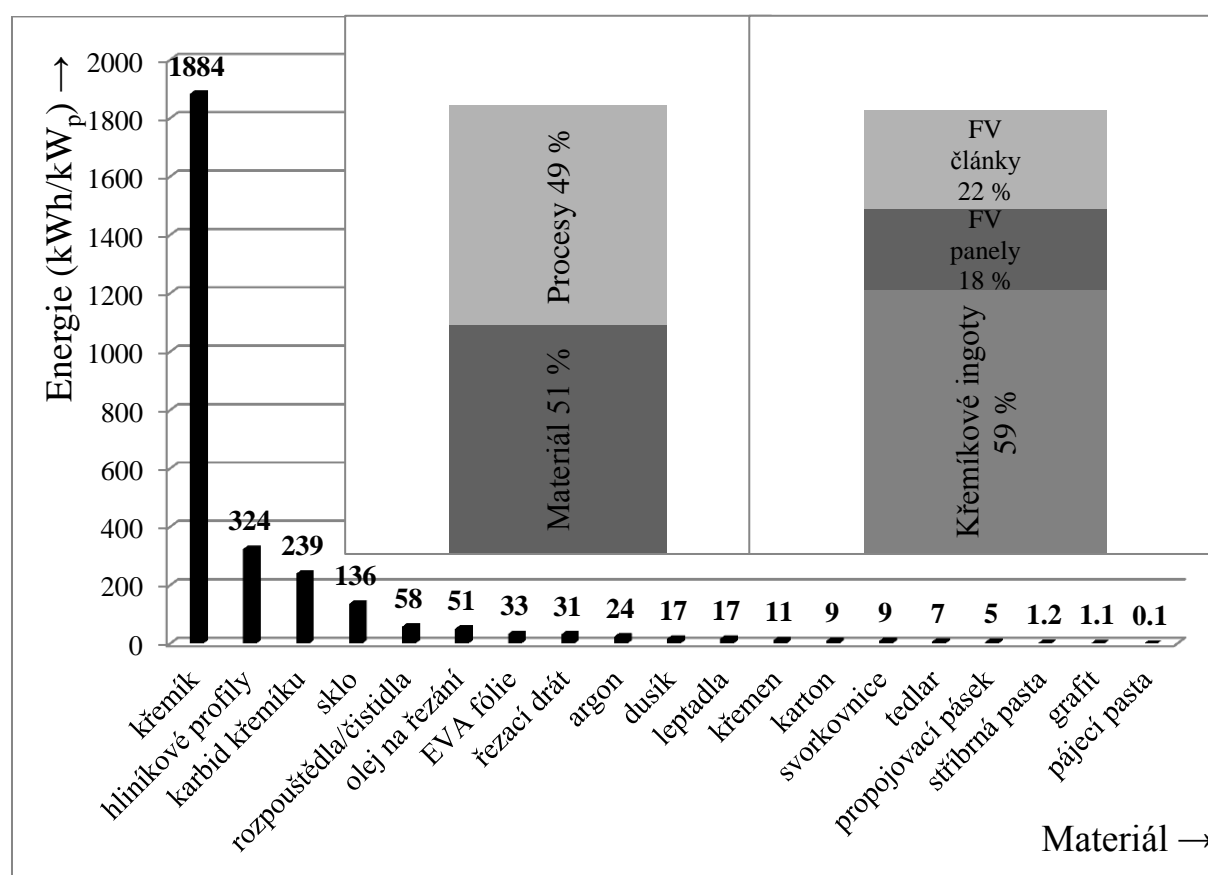
Vyrobený stejnosměrný elektrický proud je pro další využití ve většině spotřebičů nebo pro dodávku proudu do rozvodné sítě nutné přeměnit na proud střídavý v tzv. invertorech (měničích proudu). V dnešní době se používají měniče elektronické, dříve používané měniče

rotační jsou již historií. Libra a Poulek (14) dělí elektronické měniče dle použití na ostrovní a síťové, dle technického provedení na transformátorové a beztransformátorové a podle výkonu na jednopanelové, systémové a centrální. Jednopanelové měniče mívají výkon do 250 W a obsluhují dle názvu pouze jeden FV panel, typický výkon systémových měničů je 5 a 6 kW a obsluhují zpravidla jeden string s napětím do 1 kV (sériový obvod FV panelů). Centrální měniče disponují výkonem cca. 5 kW až 1 MW a obsluhují veliké množství stringů.

4.2 Ekonomický aspekt FV elektráren

Než se učiní rozhodnutí pro nákup a výstavbu fotovoltaického systému, je nutné provést ekonomické hodnocení investice. Mnoho lidí argumentuje ve prospěch FV systémů a tvrdí, že výroba elektřiny ve FV panelech je zdarma a nezatěžuje tak životní prostředí jako výroba elektřiny v uhelných či jiných elektrárnách. Často se však do úvah nezahrnují energetické nároky na výrobu FV článků a panelů. Vyrobené FV panely se pak musí provozovat mnoho let, než jimi vyrobené množství energie přesáhne energii spotřebovanou na výrobu panelu. Libra a Poulek (14) uvádějí následující energetické nároky výroby FV panelu. Jedná se o panel na bázi polykrystalického křemíku s maximálním výkonem 1 kW_p.

Graf 4-1: Energie spotřebovaná na výrobu FV panelu (14)



Jak je v grafech vidět, celková spotřeba energie na výrobu výše uvedených panelů činí 5600 kWh, zdaleka největší podíl má výroba křemíku požadované čistoty. Libra a Poulek (14)

dále uvádějí tabulku typických energetických výnosů různých FV systémů s krystalickými křemíkovými panely pro ČR a jiné světové destinace:

Tabulka 4-1: Typické energetické výnosy FV systémů (14)

	Severočeský kraj	Jihomoravský kraj	Jižní Španělsko	Tibet
	(kWh / kW _p)			
Pevný FV systém	850	1 000	1 500	2 500
Sledovač Slunce	1 000	1 200	2 000	3 400
Sledovač a oboustranné panely	1 100	1 300	2 200	3 800
Hřebenový koncentrátor	1 200	1 500	2 700	4 700
Koncentrátor a oboustranné panely	1 300	1 600	2 900	5 000

Aby bylo možné zhodnotit ekonomickou efektivnost projektů, je nutná znalost následujících ekonomických veličin (11):

- Investiční náklady zahrnující jak jednorázové výdaje na přípravu stavby, projekt, dodávky technologického zařízení a jeho montáž, stavební úpravy, elektrickou přípojku, tak reinvestiční výdaje spojené s nutností výměny dosluhujících zařízení po určitém čase provozu.
- Doba životnosti zařízení, což je doba, po kterou je možné zařízení provozovat bez nutnosti reinvestic.
- Provozní výdaje týkající se obsluhy zařízení, jeho pravidelné údržby, předpokládaných oprav, režie, pojištění aj.
- Velikost roční produkce energie.
- Způsob financování projektu, čili velikost splátek, doba splácení půjček a úroková sazba úvěru. Do této kategorie je nutné zahrnout cenu vlastních financí a případný systém zelených bonusů a jiných dotací.

Státní podpora týkající se oblasti fotovoltaiky se rok od roku mění, je tedy nutné sledovat aktuální zákony a vyhlášky, které každoročně stanovují výši státních příspěvků a další kritéria.

Jednou z obecných nevýhod hodnocení projektů pomocí metod ekonomické efektivnosti je nutnost převádět všechny hodnocené parametry na společný a porovnatelný základ – peníze. Neznáme však zatím způsob, jak peněžními prostředky ohodnotit veličiny jako přínos FV elektráren pro životní prostředí, přínosy v oblastech sociálních a estetických. Tyto kategorie jsou značně subjektivní a nelze je tak do objektivních metod hodnocení efektivnosti zahrnout. Případným investorům tedy nezbyvá nic jiného, než aby si sami tato subjektivní kritéria do hodnocení zahrnuli a učinili správná rozhodnutí. Do hodnocení se zahrnují i ekonomické veličiny jako náklady obětované příležitosti, časová hodnota peněz a utopené náklady.

Nejpoužívanějším hodnotícím kritériem výnosnosti investičních projektů je Čistá současná hodnota (*NPV*). Toto kritérium vyjadřuje současnou hodnotu budoucích peněžních toků spolu se vstupní investicí dle vzorce:

$$NPV = \sum_{t=0}^{Ziv} \frac{CF_t}{(1+dsc)^t} \quad (\text{Kč; Kč/rok, -, -}) \quad (4-1)$$

Kde: *NPV* je čistá současná hodnota
CF je peněžní tok v daném roce
Ziv je doba životnosti
dsc je požadovaná výnosnost
t jsou jednotlivé roky uvažovaného období

Pokud je výsledná hodnota *NPV* kladná, je investice považována za efektivní a zajišťuje výnosnost danou požadovanou výnosností. Pokud je *NPV* záporná, není investice efektivní a nezajišťuje požadovanou výnosnost. U požadované výnosnosti je možné rozlišovat mezi reálnou a nominální diskontní mírou, které se odlišují vyloučením nebo zahrnutím vlivu inflace.

4.3 Životní cyklus fotovoltaické elektrárny – výroba a recyklace

4.3.1 Výroba fotovoltaických panelů

Životní cyklus fotovoltaického článku začíná jeho výrobou. Jak píše Poulek a Libra (18), v současnosti jsou nejrozšířenější články na bázi křemíku. Z tohoto důvodu se autor v rámci této práce zaměří na životní cyklus křemíkových fotovoltaických článků a panelů. Křemík jako prvek je jedním z nejrozšířenějších prvků na Zemi, je proto relativně dostupný a dnes již dobře prozkoumaný jako polovodič. V přírodě ho většinou nenajdeme v čisté podobě, nýbrž ve sloučenině s kyslíkem ve formě oxidu křemičitého zvané křemen.

Jak uvádějí Poulek a Libra (18), čistý křemík se vyrábí z křemenného písku redukcí za přítomnosti uhlíku. Pokud celý proces značně zjednodušíme a vynecháme meziprodukty, můžeme chemickou reakci zapsat jako:

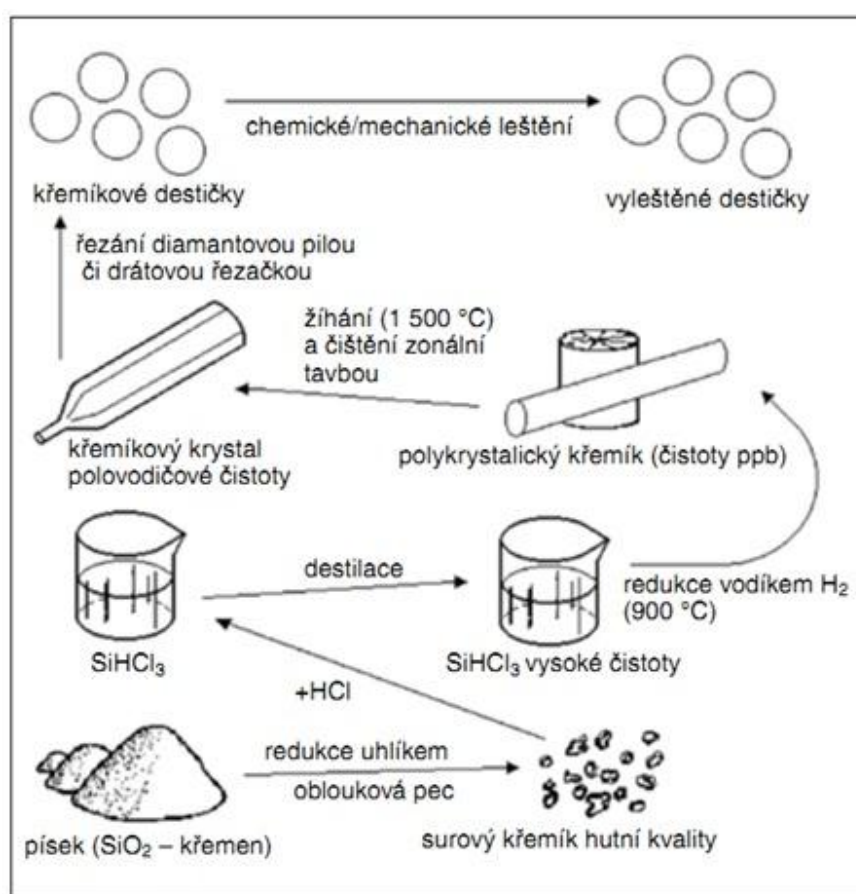


K proběhnutí této chemické reakce je potřeba vysoká teplota, dosahuje se jí v obloukových pecích. Do pece se kontinuálně shora dodává křemenný písek ve směsi s namletým koksem (uhlíkem), směs obloukovou pecí klesá, přičemž teplota v jednotlivých úrovních se postupně zvyšuje. Po proběhnutí mnoha chemických reakcí se ve spodní části pece při teplotě okolo 2000 °C nahromadí roztavený surový křemík o čistotě okolo 99 %. Takto získaný křemík se však musí dále zpracovat a vyčistit, jednoprocenní příměsi železa, hliníku a uhlíku jsou pro výrobu polovodičů nepřijatelné. Pro výrobu fotovoltaických článků postačuje čistota křemíku s nečistotami řádově 10^{-6} .

Poulek a Libra (18) uvádějí, že v současnosti nejpoužívanější technologií pro čištění hutního křemíku je metoda využívající chlórový cyklus. Nejdříve se křemík sloučí s kyselinou chlorovodíkovou a vytvoří trichlórsilan ($SiHCl_3$), následně se tato sloučenina destiluje a získává se tak křemík o potřebné čistotě. Problémem této metody čištění je její vysoká náročnost na energii a nevlídnost k životnímu prostředí. Proto se neustále vyvíjejí nové metody, které by uvedené problémy eliminovaly. Po čištění křemíku vznikají hrudky čistého křemíku, u kterých se kontroluje jejich elektrický odpor, podle kterého lze poznat přítomnost nečistot a nežádoucích příměsí. Z křemíkových hrudek jsou dalším zpracováním získávány křemíkové ingoty.

Schematicky je postup výroby křemíkových destiček znázorněn na následujícím obrázku:

Obrázek 4-1: Postup výroby křemíkových destiček (18)



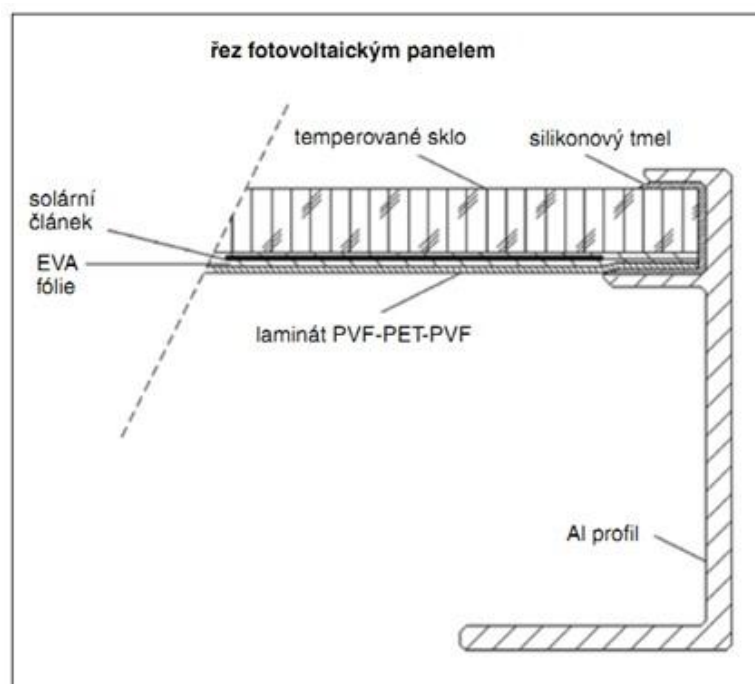
Výroba polykrystalických a monokrystalických křemíkových ingotů je technologicky odlišná. Jednodušší je, dle Poulka a Libry (18), výroba polykrystalických ingotů. Vyčištěný křemík ve formě hrudek se opět roztaví a nalije do forem, ve kterých se nechává pomalu a kontrolovaně vychladnout. Dbá se při tom na to, aby vzniklá monokrystalická zrna byla co možná největší a bez nežádoucích dislokací. K výrobě monokrystalických ingotů se využívá tzv. Czochralskiho metoda. Ta spočívá v pomalém vytažení monokrystalického krystalu křemíku z taveniny o teplotě 1415 °C, přičemž se ještě nechá otáčet kolem podélné osy. Proces vyžaduje inertní atmosféru a snížený tlak. Takto vzniklé ingoty se následně rozřežou

na destičky, které tvoří základ fotovoltaického článku. Pomocí současné technologie řezání se dosahuje tloušťky destiček pouhých 100 μm .

Pro vytvoření fotovoltaického článku je potřeba do materiálu polovodiče difundovat příměsi donorů nebo akceptorů. K tomu dochází v difúzních pecích. Pro zlepšení účinnosti článků se jejich přední strana antireflexně upraví, dosahuje se tím minimalizace odrazu světelných paprsků. U některých článků se z estetických důvodů přidává průhledná vrstva, která odráží světlo o definované vlnové délce a tedy i barvě. Články tak získávají svou charakteristickou modrou barvu. Ke článku je třeba připojit ještě kontakty, přední kontakt musí zakrývat co možná nejmenší část článku, užívají se mřížkové nebo hřebenovité tvary. Zadní kontakt článku bývá celoplošný. Jak uvádějí Poulek a Libra (18), kontakty se na články připevňují sítotiskem nebo například vakuovým napařováním. V některých případech se kontakt vnořuje do materiálu polovodiče.

Hotové fotovoltaické články se pak řadí sério-paralelně, aby se dosahovalo požadovaného výstupního napětí. Přední stranu chrání kalené sklo, které odolává přírodním živlům. Pod sklo je pokládána vrstva etylvinylacetátové fólie (EVA) a pod tuto fólii se pokládají propojené fotovoltaické články. Následuje další vrstva EVA fólie a vrstva laminátu (PVF, PET – polyvinylidenfluorid, polyetylenetereftalát). U takto připraveného panelu se vyčerpá vzduch z mezer mezi vrstvami a panel se zahřeje tak, aby se EVA fólie roztekla a zalila tak fotovoltaické články. Následně se panely zarámují a zatmelí silikonem do hliníkových profilů a přidají se výstupní kontakty. U oboustranných panelů je konstrukce obdobná, zadní strana je však tvořena průhledným laminátem a kontakty nejsou celoplošné. Řez fotovoltaickým panelem uvádím na následujícím obrázku:

Obrázek 4-2: Řez fotovoltaickým panelem (18)



4.3.2 Recyklace fotovoltaických panelů

S prudce vzrůstajícím počtem fotovoltaických aplikací vyvstává otázka, jak s fotovoltaickými panely naložit po ukončení jejich životnosti. Jak uvádí Appleyard (19), životnost běžných fotovoltaických panelů se pohybuje okolo 25 let a více a k prvním rozsáhlým instalacím fotovoltaických technologií došlo za začátku 90. let minulého století. Potřeba recyklovat hodnotné materiály je tedy očividná a k růstu jejího využití dojde již během několika nadcházejících let. V roce 2008 například bylo celkové množství FV odpadu vyčísleno na asi 3800 tun materiálu, v roce 2020 je očekáváno asi 35000 tun odpadního materiálu pocházejícího z FV aplikací.

Co do počtu fotovoltaických instalací vévodí Evropě jednoznačně Německo, následují Španělsko, Nizozemí, Itálie, Francie a další evropské státy. Německo, jak tvrdí Appleyard (19), vyprodukovalo v roce 2008 80 % celkového množství FV odpadu Evropy. Odhaduje se, že v roce 2020 bude Německo zdrojem asi 50 % odpadního FV materiálu. Je tedy logické, že Německo ve vývoji recyklačních technologií Evropě vévodí. Jak uvádí Appleyard (19), vývoj recyklačních technologií začal v počátcích 90. let 20. století, vévodily mu společnosti jako AEG, Pilkington Solar International GmbH, BP Solar a jiné. V současnosti můžeme rozdělit recyklační snahy do dvou skupin – na recyklaci panelů s klasickými krystalickými články, které vévodí společnost Deutsche Solar AG a na recyklaci tenkovrstvých FV článků, kde je nejvýznamnější společnost First Solar. Při recyklaci panelů s krystalickými články se klade důraz na získávání silikonu, kovů a zejména stříbra. U tenkostěnných článků se recyklují hlavně klíčové materiály a kovy, jako tellur a indium. Recyklační materiálů použitých ve fotovoltaických panelech se šetří nejen životní prostředí, snižuje se i doba, za kterou panel začne být energeticky návratný.

V minulosti byl proces recyklace FV panelů s krystalickými články zaměřen především na získávání celých křemíkových destiček, které pak byly bez znatelného snížení energetického výnosu použity na výrobu nových FV panelů. Jak uvádí Appleyard (19), touto recyklační se snížila doba energetické návratnosti FV panelů ze sedmi let na dva roky. V dnešní době s tím, jak se snižuje tloušťka FV článků, se společnosti přeorientovávají na recyklaci se získáváním surového křemíku dostatečně čistého pro opětovnou výrobu článků, skla a kovů. Získávání celých křemíkových destiček bez poškození díky zmenšujícím se tloušťkám již není možné. Dnešní recyklace spočívá v termickém rozkladu a následném oddělení jednotlivých materiálů použitelných při výrobě nových článků. Následující tabulka uvádí podíly jednotlivých materiálů na FV panelu jako celku a množství materiálu, které je získáno recyklační pro opětovné využití:

Tabulka 4-2: Recyklovatelný podíl jednotlivých materiálů (19)

	kg/m ³	% hmoty	% získané recyklací
Sklo	10	74,16	90
Hliníkový rám	1,39	10,3	100
FV článek	0,47	3,48	90
EVA	1,37	10,15	-
Kontaktní pásy	0,1	0,75	95
Jiné	0,16	1,16	-

Appleyard (19) uvádí, že společnost FirstSolar, která se zaměřila na recyklaci tenkovrstvých CdTe článků, používá jiný technologický proces. Panely jsou nejprve mechanicky rozdrčeny, následně se odstraňují polovodičové vrstvy za přítomnosti kyselin. Potom se odděluje sklo od materiálů bohatých na kovy. Tímto procesem je možné recyklovat až 95 % polovodičových materiálů a 90 % skla.

V rámci Evropy došlo v roce 2007 k vytvoření sdružení PV Cycle. Jedná se o neziskové sdružení výrobců fotovoltaických komponentů, které zajišťuje sběr starých nebo poškozených fotovoltaických panelů. Pro koncové zákazníky tak nevzniknou po skončení životnosti náklady spojené s recyklací. Tyto náklady na sebe bere sdružení PV Cycle a jsou kryty navýšením pořizovací ceny fotovoltaických panelů. Není při tom nutné evidovat značky jednotlivých panelů, náklady na recyklaci si výrobci rozdělují podle aktuálních podílů na trhu. Toto sdružení vzniklo v souladu s evropskou legislativou, která stanovuje, že odpovědnost za sběr a recyklaci panelů mají výrobci těchto technologií. Na sběrných místech po celé Evropě jsou instalovány kontejnery, do kterých se staré a vadné fotovoltaické panely vyhazují a tyto kontejnery jsou po naplnění odvezeny do příslušných recyklačních provozoven.

Česká legislativa se s evropskou neshoduje zcela. Za FV panely, které byly uvedeny na trh před 1.1.2013 totiž nese recyklační náklady provozovatel fotovoltaické elektrárny, nikoliv výrobce panelů. Náklady na recyklaci panelů uvedených na trh od 1.1.2013 nesou výrobci a dovozci panelů. Tato legislativní úprava je v Evropě ojedinělá a značně omezuje činnost sdružení PV Cycle, které jinak funguje po celé Evropské unii. Pro provozovatele v ČR, kteří provozují fotovoltaický systém s panely dodanými na trh před 1. lednem 2013, tak vzniká povinnost periodicky od roku 2014 platit poplatek související s recyklací a provozovatelé musí převést povinnost financování na právnickou osobu, se kterou musí uzavřít smlouvu do 30. června 2013. Výše poplatku však v současnosti ještě není stanovena. Tuto ekologickou likvidaci fotovoltaických panelů zajišťuje v ČR například nově vzniklý kolektivní systém zpětného odběru REMA PV Systém. Mimo této společnosti působí na českém trhu dalších 5 kolektivních systémů, které likvidují elektrozařízení a provozovatelé si je mohou vybrat. Zapojením do sdružení se provozovatelům usnadní některé administrativní povinnosti spojené s recyklací a nejsou povinni poskytnout finanční záruky na účelově vázaném účtu. Je paradoxní, že se provozovatel fotovoltaické elektrárny v ČR nemůže zapojit do jinak

celoevropského kolektivního systému PV Cycle, ačkoliv je v ceně panelů již zahrnut příspěvek výrobců právě do tohoto kolektivního systému.

Ostatní prvky fotovoltaické elektrárny se také recyklují, způsob recyklace je již legislativně dořešen. Ekonomicky výhodná je recyklace měničů, jejichž doba životnosti se pohybuje dle Novotného (20) kolem pěti let. Měniče se mechanicky rozeberou, následně se jednotlivé demontované součásti měniče mechanicky rozdrtí a chemicky separují. Tímto procesem se získají suroviny pro opětovné použití. Kabele se recyklují za pomoci mlýnů, nožových drtičů a vzduchových separačních zařízení (20), existuje mnoho různých technologických postupů. Taktéž baterie a nosné konstrukce se recyklují, jelikož recyklace jejich materiálů je ekonomicky výhodná.

4.4 Další prvky solárních tepelných soustav

Pro praktické využití tepla vznikajícího v solárních kolektorech, je třeba kolektory doplnit o další prvky tepelné soustavy. Jsou jimi zejména zásobník tepla, teplonosná kapalina, potrubí s tepelnou izolací, výměníky tepla, oběhová čerpadla a různé ventily a měřicí zařízení.

4.4.1 Teplonosné médium

K přenosu tepla od kolektorů do místa spotřeby je nutné použít vhodnou kapalinu (v ojedinělých případech se používá vzduch). Mezi nejčastěji používané kapaliny patří voda a různé nemrznoucí směsi. Ideální teplonosná kapalina má velmi nízkou teplotu tuhnutí, velkou tepelnou kapacitu a nízkou viskozitu, je nehořlavá, chrání zařízení proti korozi, je dlouhodobě stálá a splňuje další ekologické aspekty (netoxičnosti, biologická odbouratelnost). V neposlední řadě pak musí být i cenově dostupná.

Voda

Voda má pro použití v solárních soustavách několik výhod – má nízkou viskozitu, vysokou tepelnou kapacitu, je netoxická, nehořlavá a především levná. K zásadním nedostatkům patří její vysoká teplota tuhnutí, která ji vylučuje pro použití v systémech s celoročním provozem. Při špatné úpravě může způsobovat korozi systému.

Glykolové nemrznoucí směsi

Tyto směsi jsou v současnosti nejpoužívanějšími teplonosnými médii v solárních tepelných soustavách. V porovnání s vodou bývají namíchaný na teplotu tuhnutí až okolo -30 °C, mají asi o čtvrtinu nižší tepelnou kapacitu a vyšší kinematickou viskozitu. Po dodatečném ošetření zabráňují korozi tepelného systému. Celková účinnost solárního kolektoru klesá při použití glykolových směsí asi o 1 %.

4.4.2 Potrubí

U nezasklených sezónních solárních soustav pro ohřev bazénové vody se používá nejčastěji potrubí plastové. U takovýchto systémů nepřekračuje teplota kapaliny 60 °C a je tedy možné použít různé umělé hmoty. Pro solární soustavy se sofistikovanějšími kolektory a s vyšší teplotou teplonosného média bývá použito měděné či ocelové potrubí. K izolaci

potrubí se používá materiálů na bázi EPDM. Izolace musí mít především dlouhou životnost a musí být odolná proti vysokým teplotám.

4.4.3 Čerpadla

Pro dopravu teplonosné látky mezi kolektorem a zásobníkem tepla je nutné použít oběhové čerpadlo. Matuška (8) dělí čerpadla na hydrostatická a hydrodynamická. Hydrostatická čerpadla zajišťují vyšší nezávislost průtoku na tlakových ztrátách potrubní sítě a umožňují tak udržení konstantního průtoku teplonosného média. Častěji se však používají hydrodynamická čerpadla s úpravou pro použití nemrznoucích směsí, jelikož jsou cenově výhodnější.

4.4.4 Výměníky tepla

Předání tepla teplonosné kapaliny další pracovní látce zajišťují výměníky tepla. Matuška (8) dělí výměníky tepla pro solární tepelné soustavy na vnitřní a vnější. Vnitřní výměníky, které jsou umístěné uvnitř zásobníku tepla a akumulčních nádob, tvoří hladké trubky, vlnovce nebo žebrované trubky. Oproti tomu vnější výměníky se vyrábějí jako deskové nebo trubkové zpravidla s protiproudým uspořádáním toku pracovních látek

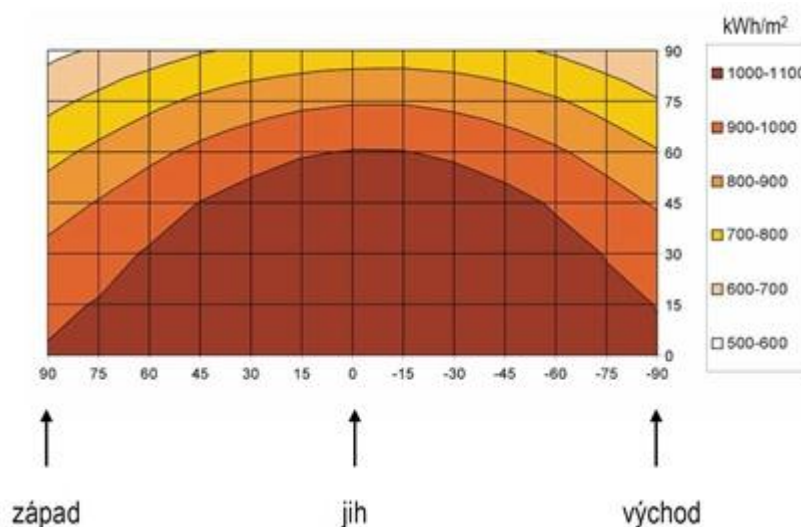
Obrázek 4-3: Hladký a žebrovaný trubkový výměník (21), (22)



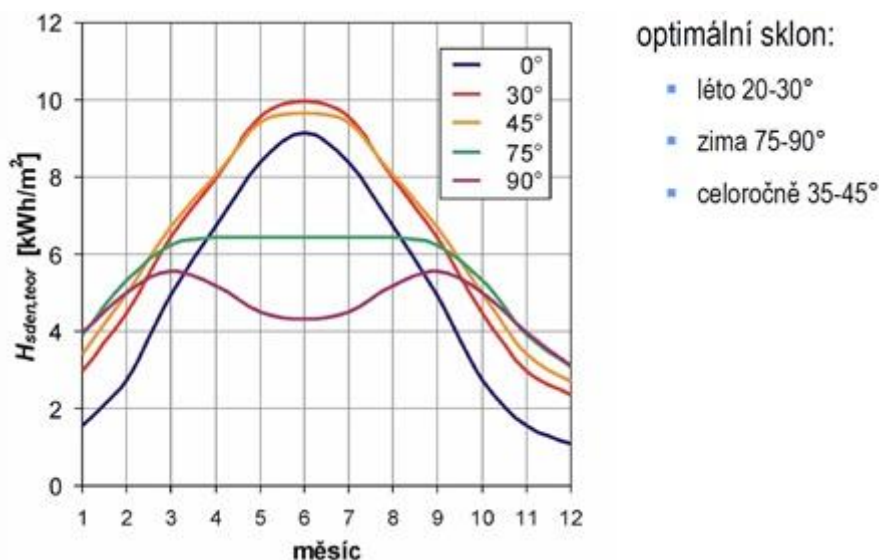
4.5 Umístění solárních kolektorů a účinnost

Správné umístění a orientace solárních kolektorů je jedním ze základních předpokladů pro jejich efektivní využití. V našich geografických podmínkách je, dle Matušky (20), nejvýhodnější jižní orientace kolektoru, přičemž odklon o 15° na východ nebo na západ nezapříčiní závažný pokles výkonu kolektoru. Druhým důležitým parametrem je sklon kolektoru, jehož optimální hodnota se v průběhu roku mění v závislosti na poloze Slunce. Pro letní měsíce je optimální sklon okolo 25°, v zimních měsících potom leží optimální sklon mezi 75° a 90°. Při celoročním provozu se obvykle využívá sklonu kolektorů 35° až 45°. Následující grafy ilustrují výše uvedené údaje. První graf uvádí vliv azimutu a sklonu plochy na dopadající sluneční energii a druhý graf potom změnu optimálního sklonu jižně orientovaného kolektoru v průběhu kalendářního roku.

Graf 4-2: Vliv azimutu a sklonu solárního panelu (23)



Graf 4-3: Změna sklonu plochy kolektoru během roku (23)



Jak uvádí Matuška (23), účinnost solárního kolektoru je možné určit ze znalosti fyzikálních vlastností jeho částí podle tohoto vzorce:

$$\eta = F' \cdot \left[\tau \cdot \alpha - U \cdot \frac{(T_m - T_e)}{G} \right] \quad (-; -, -, -, \text{W/m}^2 \cdot \text{K}, \text{K}, \text{K}, \text{W/m}^2) \quad (4-3)$$

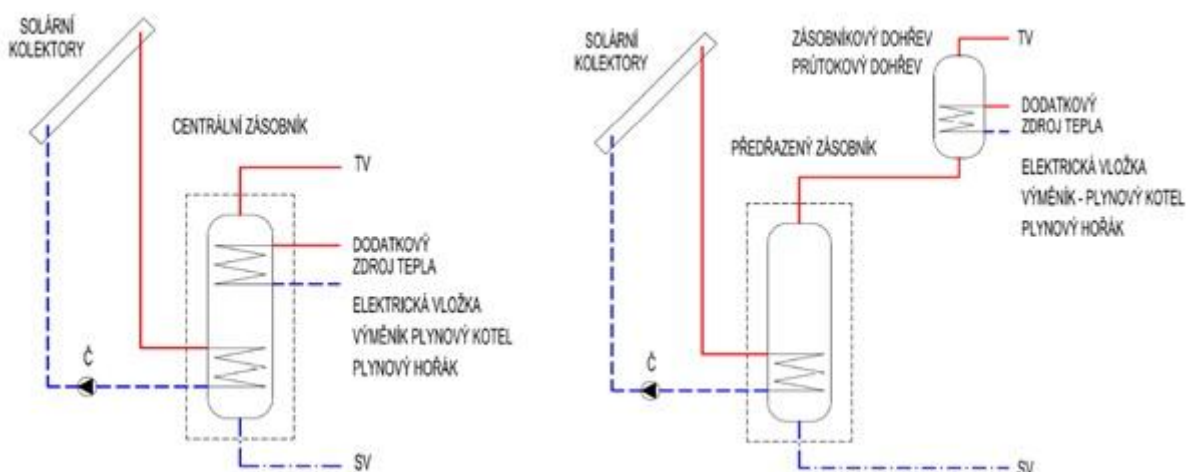
τ značí propustnost slunečního záření zasklením, α je pohltivost slunečního záření absorbéru, U je součinitel prostupu tepla kolektoru, F' je účinnostní součinitel kolektoru a závisí na geometrii a tepelných vlastnostech absorbéru, T_m je střední teplota teplotnosné látky v kolektoru (průměr mezi vstupní a výstupní teplotou), T_e značí teplotu okolí a G značí střední ozáření pro daný sklon a danou orientaci kolektoru.

4.6 Vybrané solární tepelné soustavy

4.6.1 Maloplošné solární soustavy pro přípravu teplé vody rodinných domů

Spotřeba teplé vody rodinných domů během roku většinou moc nekolísá, solární soustavy pro přípravu teplé vody (TV) tak mají dobrou využitelnost a mohou tak přinášet domácnostem značné úspory. Jak uvádí Matuška (8), běžná spotřeba teplé vody v domácnostech činí 30 až 50 l/(den·os). Solární soustavy pro tuto spotřebu vody mívají plochu kolektorů mezi dvěma a šesti metry čtverečními a zásobník teplé vody o objemu 200 až 500 l. Nejčastěji se používají solární soustavy s předehřívacím zásobníkem nebo solární soustavy s bivalentním zásobníkem.

Obrázek 4-4: Soustava s bivalentním (vlevo) a předřazeným (vpravo) zásobníkem (24)



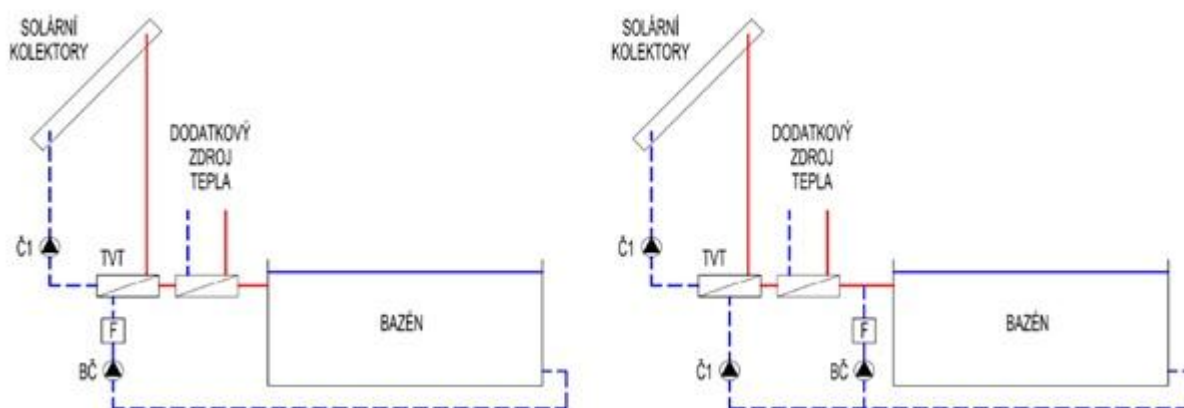
Tyto malé soustavy jsou jednoduše regulovatelné, zpravidla vysoko-průtokové. Objem předřazeného zásobníku u soustav s předřazeným zásobníkem se dimenzuje až na dvojnásobek denní spotřeby TV. Předehřátá voda je z něj vedena na dohřátí do průtokového nebo zásobníkového ohřivače. U bivalentních zásobníků tepla je dodatečné ohřátí provedeno přímo v centrálním zásobníku, celé provedení je kompaktnější a prostorově méně náročné. Na konstrukci centrálního zásobníku jsou však kladeny vyšší konstrukční nároky, což může být chápáno jako nedostatek takového systému.

4.6.2 Solární soustavy pro ohřev bazénové vody

Jak uvádí Matuška (8), ohřev bazénové vody za pomoci solárních tepelných soustav je jedním z nejlepších využití těchto systémů. Koresponduje zde totiž časové období potřeby teplé vody (především v létě) s maximální intenzitou dopadajícího slunečního záření a požadované teploty bazénové vody jsou poměrně nízké. Ohřívání bazénové vody může kolektory protékat přímo (sezonní použití) nebo se využívá výměníku tepla (pro celoroční provoz). Pro lepší představu níže uvádím schéma soustavy pro ohřev vody v krytých bazénech. U venkovních bazénů se schéma liší pouze v absenci dodatkového zdroje tepla umožňující zimní provoz a v absenci tepelného výměníku. Pokud není zapotřebí provádět filtraci bazénové vody po celou dobu cirkulace přes kolektory, je možné provozovat dvě

čerpadla odděleně. U soustav pro venkovní sezónní provoz se volí levné nekryté plastové absorbéry, které jsou odolné proti chemickému ošetření bazénové vody. Pro kryté bazény se využívá zasklených selektivních kolektorů a jako teponosná látka bývá použita nemrznoucí směs. Nemrznoucí kapalina je oddělena od bazénové vody tepelným výměníkem.

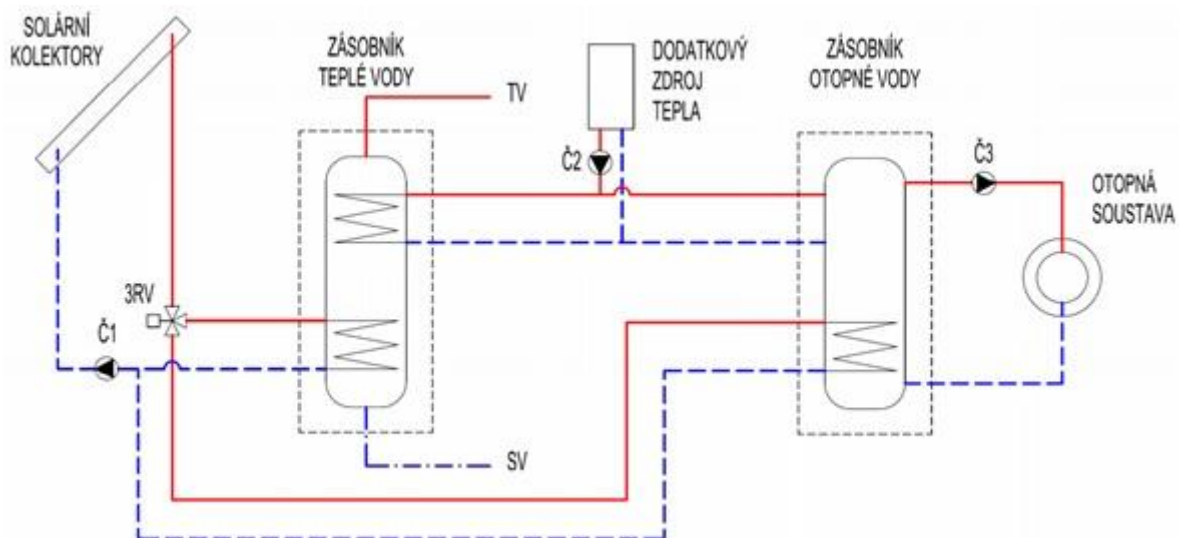
Obrázek 4-5: Soustava pro ohřev krytých bazénů (24)



4.6.3 Kombinované solární soustavy pro přípravu TV a vytápění rodinných domů

Tento solární tepelný systém je dle Matušky (8) možné použít především u nových nízkoenergetických či energeticky pasivních budov s nízkými tepelnými ztrátami. Malé tepelné ztráty budov umožňují vytápět domy nižší teplotou otopných soustav, které lze zásobovat teplem i ze solárních kolektorů. Bohužel se období nutného vytápění budov neshoduje s obdobím maximální energie dopadajícího záření, v zimě je tak možné pokrýt teplem ze solárních panelů pouze část požadované spotřeby. Ideální je tepelné přebytky letních měsíců nějakou formou akumulovat. Níže uvádím schéma kombinovaného systému se dvěma oddělenými zásobníky vody.

Obrázek 4-6: Kombinovaná soustava se dvěma zásobníky a dodatkovými zdroji (24)



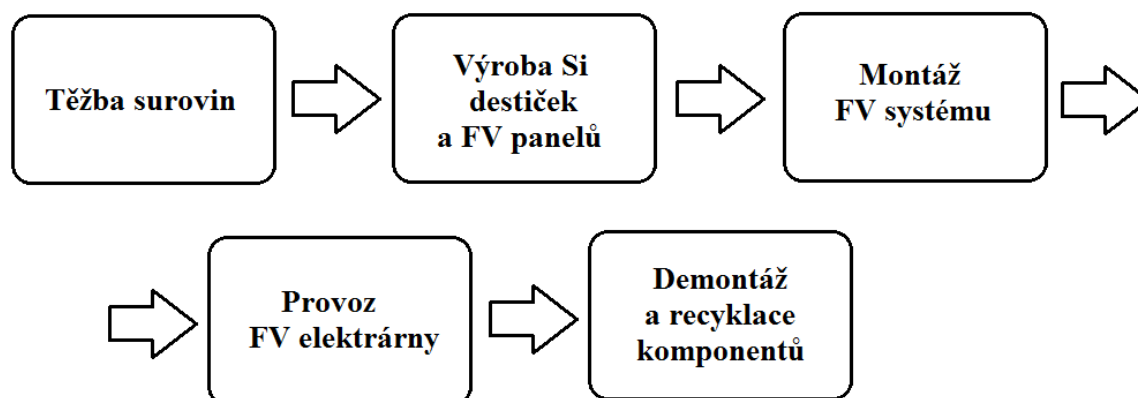
Tyto systémy jsou náročné na prostor a vlivem velkého povrchu mohou mít i vyšší tepelné ztráty.

5 MATEMATICKÉ MODELY ELEKTRÁREN A VYTVOŘENÍ SIMULAČNÍHO PROGRAMU

5.1 Matematický model fotovoltaické elektrárny

Pro vytvoření matematického modelu fotovoltaické elektrárny je nutné nejprve definovat jednotlivé fáze životního cyklu, které se do modelu promítnou svými specifickými náklady. Pro účel této práce je vhodné definovat tyto fáze životního cyklu: těžba surovin, výroba křemíkových destiček a kompletace panelů, montáž fotovoltaického systému, provoz fotovoltaického systému a demontáž a recyklace komponent. Přehledně ilustruje fáze životního cyklu FV elektrárny následující graf:

Obrázek 5-1: Fáze životního cyklu FV elektrárny



První tři fáze výše definovaného životního cyklu se promítnou pouze do pořizovacích nákladů FV elektrárny. Fáze provozu fotovoltaické elektrárny bude hrát stěžejní roli v ekonomickém hodnocení efektivity investice. V průběhu života budou generovány finanční příjmy plynoucí z výroby elektrické energie a kumulace těchto příjmů bude vyvažovat vstupní investici. Jak je uvedeno v kapitole 4.3.2, fáze demontáže a recyklace komponentů je zatím legislativně nedořešena a neexistuje zatím konkretizace nákladů na recyklaci. Jelikož se ale náklady na demontáž a recyklaci promítají do celkové efektivity investice, bude tato hodnota v programu volitelná v širokém rozpětí hodnot.

5.1.1 Ekonomické aspekty provozu FV elektrárny

Po nákupu a instalaci FV elektrárny generuje tato elektrickou energii, která bude každoročně vypočítávána z investorem zadaných hodnot špičkového výkonu P_p , ročního úhrnu slunečního záření dopadajícího na 1 m^2 plochy panelů R a celkových ztrát systému Δ_c . Do celkových systémových ztrát Δ_c jsou zahrnuty ztráty teplotní, ztráty způsobené odrazem dopadajícího záření a elektrické ztráty v kabelech a střídačích. Vyrobena energie bude vyhodnocována dle vztahu:

$$E_v = P_p \cdot R \cdot \frac{100 - \Delta_c}{100} \quad (\text{kWh/rok; kW}_p, \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok}), \%) \quad (5-1)$$

Pokud bude investor schopen odhadnout celkové ztráty FV systému, není nutné znát účinnost FV panelů. Pro odhad těchto kombinovaných systémových ztrát a pro zjištění hodnoty ročního úhrnu dopadajícího slunečního záření v dané lokalitě autor doporučuje použít internetovou výpočetní aplikaci PVGIS (25). Ze znalosti špičkového výkonu a účinnosti FV panelů se dá spočítat aktivní plocha panelů podle vztahu

$$S_A = \frac{P_p}{\eta_p} \quad (\text{m}^2; \text{kW}_p, -) \quad (5-2)$$

Vyrobená energie by se dala vypočíst i ze vztahu

$$E_v = S_A \cdot R \cdot \eta_c \quad (\text{kWh/rok}; \text{m}^2, \text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok}), -) \quad (5-3)$$

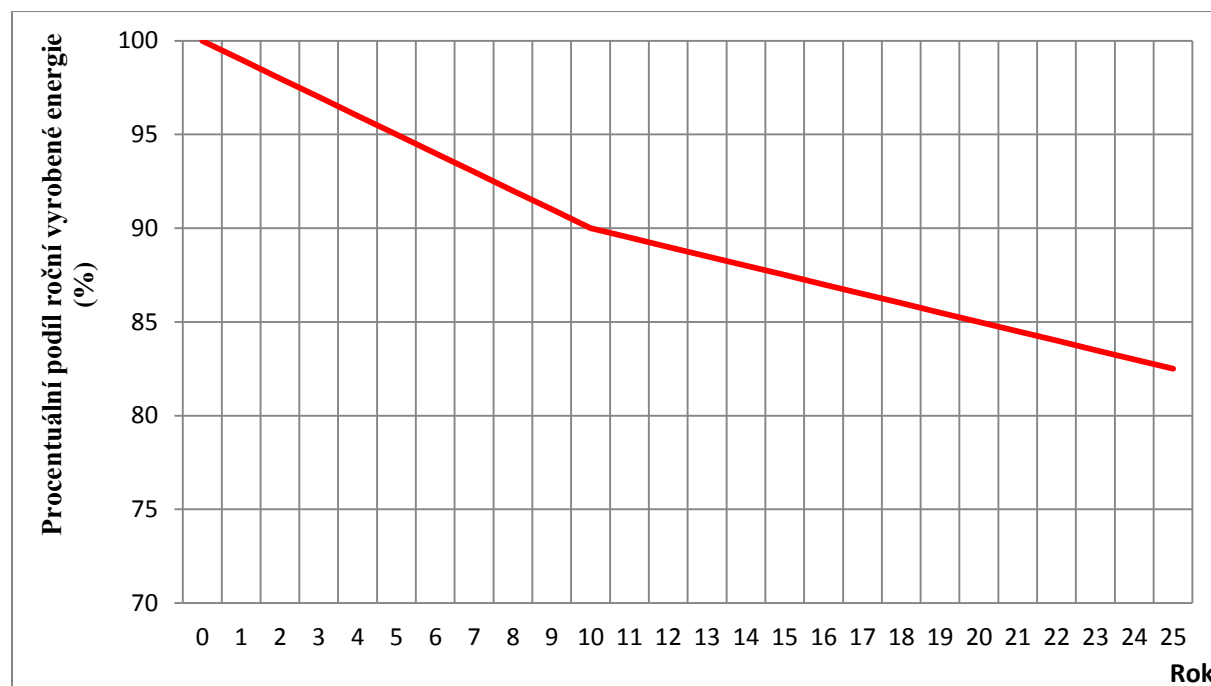
Přičemž celková účinnost η_c se vypočte jako

$$\eta_c = \eta_p \cdot \frac{100 - \Delta_c}{100} \quad (-; -, \%) \quad (5-4)$$

Po dosazení vztahů (5-2) a (5-4) do vztahu (5-3) se účinnost panelů η_p vykrátí a zbyde vztah (5-1).

Takto vypočtené množství vyrobené energie však není po dobu životnosti technologie konstantní. Většina výrobců udává u svých panelů garantované hodnoty poklesu výroby energie za 10 let od začátku výroby a na konci životnosti panelů, čili po 25 letech. Situaci ilustruje následující graf.

Graf 5-1: Pokles výroby elektrické energie v průběhu života FV elektrárny



V modelu budou uvažovány 2 nastavitelné hodnoty poklesu výroby - pokles po 10 letech provozu a na konci životnosti po 25 letech. Pokles je lineární a jednotlivé hodnoty vyrobeného množství energie jsou počítány dle vzorců

$$E_{v_r} = E_v \cdot \left(1 - \frac{(r-1) \cdot \Delta_1}{9 \cdot 100}\right) \quad (\text{kWh/rok; kWh/rok, -, \%}) \quad (5-5)$$

pro $r = 1$ až 10

a

$$E_{v_r} = E_v \cdot \left(1 - \frac{(r-1) \cdot (\Delta - \Delta_1)}{24 \cdot 100}\right) - (E_v - E_{v_{10}}) \quad (5-6)$$

(kWh/rok; kWh/rok, -, %, %, kWh/rok, kWh/rok)

pro $r = 11$ až 25

Nyní, když jsou známé hodnoty roční výroby elektrické energie, lze vypočítat tržby za vyrobenou energii. V České legislativě jsou zakotveny dvě formy podpory výroby elektrické energie ve FV elektrárnách – podpora formou zeleného bonusu a podpora formou garantované výkupní ceny. V prvním případě může výrobce elektrické energie část energie sám spotřebovat a přebytek prodávat provozovateli přenosové soustavy. Při této formě získává výrobce tzv. Zelený bonus na veškerou vyrobenou elektrickou energii a za energii prodanou získává smlouvenou cenu. Odběratele přebytečné energie si však výrobce musí najít sám a výkupní cenu smluvně sjednat. Dále je při této formě podpory možné (nutné) uvažovat i úspory za elektrickou energii, kterou provozovatel FV elektrárny nemusel koupit od místního distributora, jelikož si ji vyrobil sám. Tato částka sice nemá formu přímých tržeb, je však nutné tuto úsporu do úvah zahrnout. Pro potřeby modelu budou každoroční úspory označeny jako tržby z úspor T_{USP} , jelikož ale nezasahují do procesu zdanění a nezvyšují daňovou povinnost, budou do výpočtů zahrnuty v pozdějších fázích na úrovni výpočtu peněžních příjmů. Ve druhém případě podpory má provozovatel distribuční soustavy povinnost odkoupit od výrobce veškerou vyrobenou elektrickou energii za cenu stanovenou ERÚ, Zelený bonus navíc však výrobce již nedostává. Výše výkupních cen a Zelených bonusů každoročně stanovuje Energetický regulační úřad ve svých cenových rozhodnutích.

Výše celkových tržeb v případě režimu Zelený bonus se tedy skládá z vlastního Zeleného bonusu T_{ZB} a prodeje přebytků elektrické energie $T_{výkZB}$. Pro $r = 1$ až 25 tedy platí:

$$T_{ZB_r} = c_{ZB} \cdot E_{v_r} \cdot \left(1 + \frac{ind}{100}\right)^{(r-1)} \quad (\text{Kč/rok; Kč/kWh, kWh/rok, %, -}) \quad (5-7)$$

$$T_{výkZB_r} = c_t \cdot E_{v_r} \cdot \left(\frac{100 - Sp}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{ind}{100}\right)^{(r-1)} \quad (\text{Kč/rok; Kč/kWh, kWh/rok, %, %, -}) \quad (5-8)$$

$$T_{c_r} = T_{ZB_r} + T_{výkZB_r} \quad (\text{Kč/rok; Kč/rok, Kč/rok}) \quad (5-9)$$

$$T_{USP_r} = c_{USP} \cdot \frac{Sp}{100} \cdot E_{v_r} \cdot \left(1 + \frac{ind}{100}\right)^{(r-1)} \quad (5-10)$$

(Kč/rok; Kč/kWh, %, kWh/rok, %, -)

Veličina Sp představuje procentuální podíl vlastní spotřeby elektrické energie, výraz $\frac{100 - Sp}{100}$ je potom podíl energie, kterou výrobce prodá za smlouvenou cenu c_t . Výši Zeleného bonusu vyjadřuje výraz c_{ZB} a c_{USP} je cena za 1 kWh elektrické energie odebírané z distribuční sítě.

Výraz $(1 + \frac{ind}{100})^{(r-1)}$ zohledňuje růst cen v budoucnosti, hodnota *ind* je index růstu cen a je investorem volitelná.

Pokud investor zvolí režim podpory pevných výkupních cen s výkupní cenou $c_{výk}$, platí vztah

$$T_{výk_r} = c_{výk_r} \cdot E_{v_r} \cdot (1 + \frac{ind}{100})^{(r-1)} \quad (\text{Kč/rok; Kč/kWh, kWh/rok, \%, -}) \quad (5-11)$$

Výkupní ceny jsou každoročně valorizovány v rozmezí 2 % - 4 % (stát tak zohledňuje inflaci). Toto navýšení výkupní ceny elektrické energie bude v programu volitelné.

Po zjištění výše tržeb je nutné vypočítat i každoroční náklady, které provozem elektrárny vznikají. Roční výši nákladů lze vypočítat pro $r = 1$ až 25 dle vztahu

$$N_r = N_{poj_r} + N_{úd_r} = \frac{p_{poj}}{100} \cdot Inv + N_{úd_r} \cdot (1 + \frac{ind}{100})^{(r-1)} \quad (5-12)$$

(Kč/rok; Kč/rok, Kč/rok; %, Kč, Kč/rok, %, -)

N_{poj} jsou náklady na pojištění elektrárny a vypočtou se pomocí zadaného procenta pojištění p_{poj} a výše pořizovací investice *Inv*. Doba pojištění v letech bude volitelná. $N_{úd}$ představují každoroční náklady na údržbu systému a zahrnují náklady na sociální a zdravotní pojištění.

Po určité době provozování fotovoltaické elektrárny vznikne potřeba výměny některých komponent (např. střídače), které mají životnost kratší než fotovoltaické panely. Výše této re-investice *Rinv* a její pořadový rok budou investorem volitelnými parametry.

Další položkou nákladové stránky investice jsou odpisy. Pro fotovoltaické elektrárny platí od roku 2011 rovnoměrné odepisování po dobu dvaceti let bez možnosti odepisování přerušit. V modelu tak dochází k určité nepřesnosti, problematika odpisů je ve skutečnosti složitější. Výše uvedené pravidlo dvacetiletého odepisování platí pro tzv. technologickou část elektrárny, která tvoří cca 80 % nákladů. Zbývajících 20 % nákladů představuje tzv. stavební část elektrárny, která se zařazuje buď do 4. odpisové skupiny v případě volně stojících elektráren, nebo do 5. odpisové skupiny pro případ střešních instalací. 4. odpisová skupina má zákonem stanovenou minimální dobu odepisování 20 let, 5. odpisová potom 30 let. Tuto skutečnost model zanedbává a odepisuje celou vstupní investici a re-investici rovnoměrně po dobu 20 let dle následujících vztahů.

$$Odp_r = \frac{Inv}{20} \quad (\text{Kč/rok; Kč}) \quad \text{pro } r = 1 \text{ až } (\text{rok re-investice} - 1) \quad (5-13)$$

$$Odp_r = \frac{Inv - \sum_{r=1}^{r_{inv}-1} Odp_r + Rinv}{21 - r_{inv}} \quad (\text{Kč/rok; Kč, Kč/rok, Kč, -}) \quad (5-14)$$

pro $r = (\text{rok re-investice})$ až 25

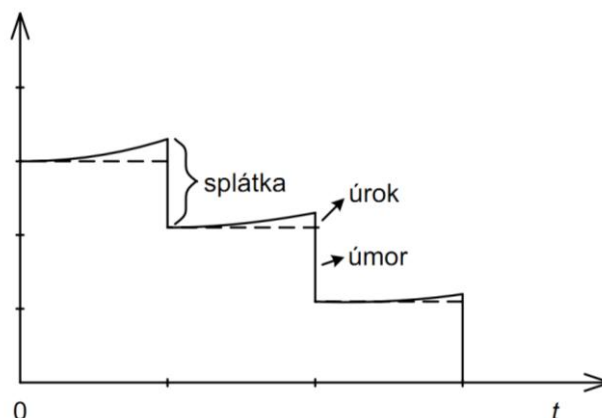
kde *rinv* je rok re-investice

Rinv je výše re-investice

Model dále umožňuje zadání úvěru do ekonomického výpočtu efektivity investice. Investor si může na prvotní investici půjčit peníze a po dobu, která je nastavitelná a závisí na

dohodě investora s finanční institucí, tuto částku navýšenou o úroky v podobě pravidelných splátek vracet. Jak ilustruje následující graf, každoroční splátka je konstantní a skládá se z úmoru a úroku. Úmor představuje spláčení původního dluhu a úrok potom nárůst hodnoty doposud neumořených částí dluhu. Výše úrokové míry, na které se investor dohodne s bankou, bude v modelu nastavitelná.

Graf 5-2: Průběh spláčení dluhu (26)



Výše pravidelné roční splátky se vypočte jako

$$Spl = Úv_0 \cdot q^l \cdot \frac{q-1}{q^n-1} \quad (\text{Kč/rok; Kč, -, -, -, -, -}) \quad (5-15)$$

kde $Úv_0$ je výše úvěru

$q = 1 + u$, u je úroková míra

l je doba spláčení úvěru

Úrok pro r -tý rok se pro $r = 1$ až l vypočte jako

$$Úr_r = \frac{u}{100} \cdot Úv_{r-1} \quad (\text{Kč/rok; \%, Kč/rok}) \quad (5-16)$$

Výše úmoru pro r -tý rok se pro $r = 1$ až l vypočte jako

$$Úm_r = Spl - Úr_r \quad (\text{Kč/rok; Kč/rok, Kč/rok}) \quad (5-17)$$

Výše zbytkového úvěru pro r -tý rok se pro $r = 1$ až l vypočte jako

$$Úv_r = Úv_{r-1} - Úm_r \quad (\text{Kč/rok; Kč/rok, Kč/rok}) \quad (5-18)$$

Jako další náklad bude v modelu možné započíst náklady na recyklaci technologie. Přesný mechanismus výpočtu nákladů na recyklaci není zatím ještě známý, pro panely dodané na trh 2013 přebírá povinnost recyklace výrobce a dodavatel panelů. Investor bude moci v programu zadat odhad nákladů na recyklaci a ten bude započten do nákladů posledního roku životnosti elektrárny dle vztahu:

$$N_R = n_{rec} \cdot P_p \quad (\text{Kč; Kč/kW}_p, \text{kW}_p) \quad (5-19)$$

kde n_{rec} jsou volitelné měrné recyklační náklady

Nyní jsou známy všechny tržby i náklady a lze vypočítat hrubý (nezdaněný) zisk jako rozdíl tržeb a nákladů pro r -tý rok pro $r = 1$ až 25 v případě režimu podpory Zelený bonus

$$Z_{nezd_r} = T_{cr} - N_r - Odp_r - Úr_r \quad (\text{Kč/rok; Kč/rok, Kč/rok, Kč/rok, Kč/rok}) \quad (5-20)$$

Pro případ podpory režimem výkupní cena platí

$$Z_{nezd_r} = T_{výk_r} - N_r - Odp_r - Úr_r \quad (\text{Kč/rok; Kč/rok, Kč/rok, Kč/rok, Kč/rok}) \quad (5-21)$$

Tento zisk je nutné zdanit. V případě, že v daném roce vyjde hrubý zisk záporně (vznikne ztráta), je základ daně pro tento rok roven nule. Jinak pro základ daně platí

$$ZD_r = Z_{nezd_r} \quad (\text{Kč/rok; Kč/rok}) \quad (5-22)$$

Nyní je nutné vypočítat daň z příjmu, výši daňové sazby *dan* může investor volit

$$DP_r = ZD_r \cdot \frac{dan}{100} \quad (\text{Kč/rok; Kč/rok, \%}) \quad (5-23)$$

Čistý zisk se získá jako rozdíl hrubého zisku a daně z příjmů

$$Z_{cist_r} = Z_{nezd_r} - DP_r \quad (\text{Kč/rok; Kč/rok, Kč/rok}) \quad (5-24)$$

Peněžní příjem vznikající v r -tém roce provozem elektrárny se vypočte jako

$$P_{prij_r} = Z_{cist_r} + Odp_r - Um_r + T_{USP_r} \quad (5-25)$$

(Kč/rok; Kč/rok, Kč/rok, Kč/rok, Kč/rok)

Pro hodnocení ekonomické efektivity projektu je nutné znát Cash flow, což je rozdíl mezi peněžními příjmy a výdaji pro daný rok. Platí

$$CF_r = P_{prij_r} \quad (\text{Kč/rok; Kč/rok}) \quad (5-26)$$

V roce, kdy dochází k technologickému zhodnocení (nákup střídačů apod.) je nutné pro výpočet Cash Flow odečíst od peněžního příjmu v daném roce hodnotu re-investice podle

$$CF = P_{prij} - R_{inv} \quad (\text{Kč; Kč, Kč}) \quad (5-27)$$

Peníze ztrácí časem svoji hodnotu. Budoucí příjmy je tedy nutné aktualizovat na současnou hodnotu – diskontovat. Jednotlivá Cash Flow se diskontují podle

$$DCF_r = \frac{CF_r}{(1+dsc/100)^r} \quad (\text{Kč/rok; Kč/rok, \%, -}) \quad (5-28)$$

kde *dsc* je volitelná diskontní míra

Základní statickou metodou hodnocení efektivity investic je Doba návratnosti *PB* (z anglického „Payback“). Tato metoda, která nezohledňuje časovou hodnotu peněz, má omezenou vypovídací schopnost. Mezi metodami hodnocení investic má však pevné místo, jelikož její použití je velice rychlé a snadné a slouží proto pro první hrubé hodnocení investice (27). Pokud již tato metoda přinese nepříznivý výsledek, není nutné projekt dále hodnotit dynamickými metodami, jejichž výsledkem by byly ještě nepříznivější hodnoty. Internetové kalkulačky, pomocí kterých si zákazníci mohou vypočítat výhodnost investice do fotovoltaické elektrárny, uvádějí jako kritérium většinou právě pouze kritérium *PB*. V tomto

modelu bude kritérium *PB* mít spíše ilustrativní charakter a bude demonstrovat, jak je použití statické metody hodnocení efektivity investic u projektu s životností přes 20 let zavádějí. Statické metody se totiž dají, bez dopuštění se přílišné chyby, použít pro časový horizont investice okolo tří let, pro delší časové horizonty je nutné hodnotit projekty pomocí dynamických metod. V programu se dá pro zjištění hodnoty *PB* s výhodou využít kumulovaný Cash flow. Program jako hodnotu *PB* vrací rok, ve kterém se poprvé kumulovaný Cash flow dostane do kladných hodnot. Bylo by možné získat i přesnější hodnotu *PB*, uvažovaná přesnost jednoho roku je však pro potřeby demonstrace návratnosti dostačující.

Problém výše uvedené statické metody, sice zanedbávání časového faktoru, řeší dynamická metoda Diskontované doby návratnosti *DPB*. Výpočet je sice velice podobný, v potaz se ale berou diskontované hodnoty Cash flow a je tak zohledněn faktor změny hodnoty peněz v čase. Bližší komentář k metodám stanovení diskontní míry je uveden v následujícím odstavci. Program jako hodnotu *DPB* vrací rok, ve kterém se poprvé kumulovaný diskontovaný Cash flow dostane do kladných hodnot.

Další dynamickou metodou hodnocení efektivity investic je Metoda čisté současné hodnoty *NPV* (z anglického „Net Present Value“), která zkoumá rozdíl mezi aktualizovanými příjmy a pořizovacími náklady. Jak uvádí Kalouda (27), „*ekonomická interpretace kritéria NPV je jednoduchá a sugestivní – jde o reálný výnos z investice (z projektu) po r letech životnosti.*“ Klíčová je u této metody diskuze o ceně kapitálu – diskontní míře. Jak uvádí Řehořová (28), stanovení diskontní míry je možné stanovit více postupy. Příkladem je stanovení diskontní míry jako součtu bezrizikové úrokové sazby (např. 14denní PRIBOR sazba) a premie za riziko, která kompenzuje investorem podstoupené investiční riziko. Další metoda vychází ze znalosti podnikových financí. Diskontní míra se dá totiž stanovit i jako průměrná hodnota *ROE* (výnosnosti vlastního jmění) za posledních *x* let, kde *x* může být například rovno životnosti projektu. Kalouda (27) vnáší do stanovení diskontní míry zjednodušení – pokud by celý projekt byl financován bankovním úvěrem, cena kapitálu by pak byla dána jeho úrokovou mírou. *NPV* je jedna z nejoblíbenějších a nejpoužívanějších metod hodnocení efektivity investic. Její jedinou významnou slabinou je problematické stanovení budoucích hodnot Cash flow. Jak uvádí Kalouda (27), „*při delším časovém horizontu je současných reálných ekonomických podmínkách skutečně jen obtížně možné predikovat (se spolehlivostí, která by stála za řeč) budoucí hodnoty CF v horizontu delším než dva roky.*“ Jedná se tedy vždy spíše o odhad hodnot budoucích *CF*. V modelu bude hodnota *NPV* vypočtena jako součet sumy diskontovaných Cash flow za dobu 25 let a záporné hodnoty počáteční investice.

$$NPV = -Inv + \sum_{r=1}^{25} DCF_r \quad (\text{Kč; Kč, Kč/rok}) \quad (5-29)$$

Často používaným ukazatelem rentability investic je Vnitřní výnosové procento *IRR* (z anglického „Internal Rate of Return“). Chmela (26) ho definuje jako „*maximální úrokovou míru, při níž projekt ještě není ztrátový.*“ Pokud je tedy *IRR* vyšší než uvažovaná hodnota diskontní míry, je projekt ekonomicky přínosný (a má větší výnosnost, než jaká je

požadována investorem). Kalouda (27) definuje kritérium *IRR* jako takovou cenu kapitálu, pro kterou je $NPV = 0$. Tato definice je vhodná i pro výpočet v programu. Ten vyhodnocuje následující rovnici

$$-Inv + \frac{CF_1}{(1+IRR)^1} + \frac{CF_2}{(1+IRR)^2} + \dots + \frac{CF_{25}}{(1+IRR)^{25}} = 0 \quad (\text{Kč, Kč, -, Kč, -, ... Kč, -}) \quad (5-30)$$

Jako výsledek pak vrací takovou hodnotu *IRR*, při které je plněna výše uvedená rovnice. Jak je zřejmé z výše uvedené rovnice, metoda *IRR* také pracuje s peněžními toky budoucích let, jejich stanovení je stejně problematické jako u metody *NPV*.

Ukazatelem finanční struktury podniku, který často požadují banky v souvislosti s možností úvěrového financování projektu, se nazývá Ukazatel krytí dluhové služby *DSCR* (z anglického „Debt Service Coverage Ratio“). Tento ukazatel měří schopnost podniku splácet úroky včetně splátek jistiny. Je však nutné vycházet ze splátkových kalendářů, čímž se tento ukazatel stává nedostupným pro externí finanční analytiku (29). Požadované hodnoty *DSCR* se s bankami vyjednávají individuálně při posuzování bonity klientů a v programu má proto ukazatel *DSCR* spíše informativní charakter. V modelu je pro rok $r = 1$ až 25 vypočítávána hodnota *DSCR* jako

$$DSCR_r = 100 \cdot \frac{Zcist_r + Ur_r + Odp_r}{Um_r + Ur_r} \quad (\%/rok; \text{Kč/rok, Kč/rok, Kč/rok, Kč/rok, Kč/rok}) \quad (5-31)$$

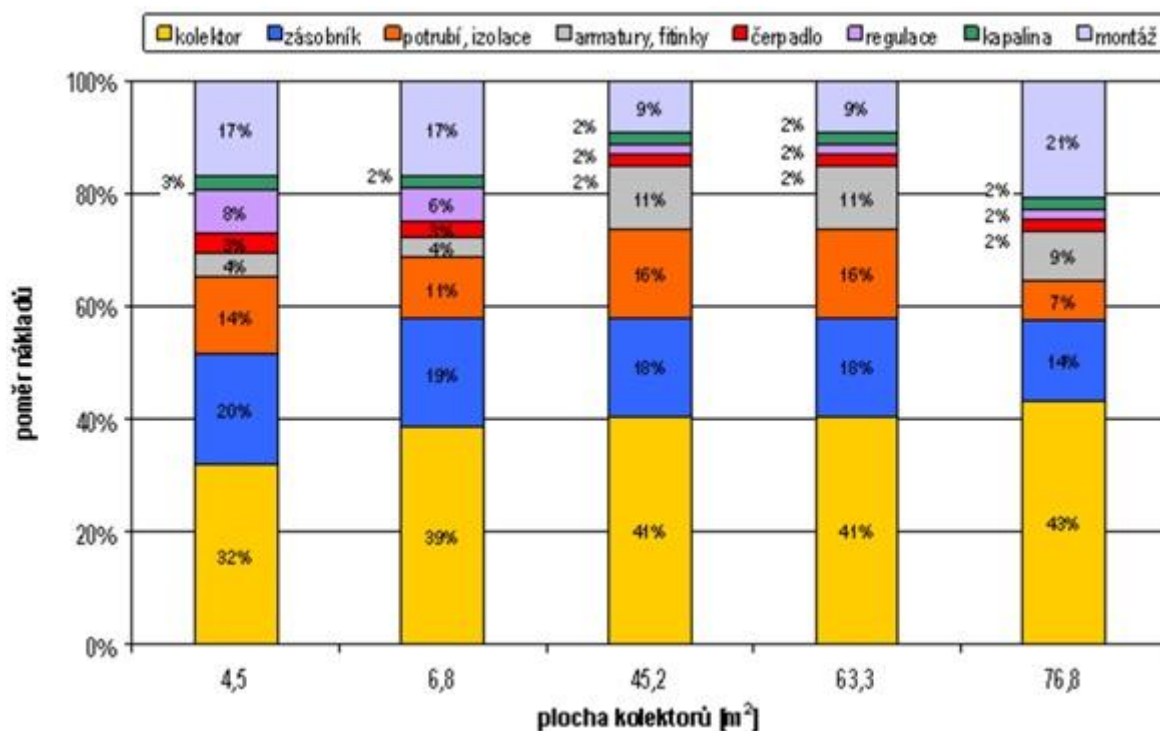
5.2 Matematický model solární tepelné soustavy

Matematický model solární tepelné soustavy se bude v mnohých ohledech shodovat s matematickým modelem fotovoltaické elektrárny. Fáze životního cyklu se dají definovat obdobným způsobem, jako je autor práce navrhuje na Obrázku 5-1 pro fotovoltaický systém. Jedná se tedy o fázi těžby a zpracování potřebných surovin (případně znovupoužití materiálů v rámci recyklačního procesu), fázi výroby komponentů solárního tepelného systému, instalace systému na daném objektu, fázi vlastního provozu systému a konečně fázi demontáže komponentů a případné recyklace použitých materiálů.

Pro investora jsou stěžejní a směrodatné prvotní investice, které s koupí a instalací solárního tepelného systému souvisejí. Do celkových investičních nákladů budou promítnuty první tři fáze životního cyklu systému. Jak uvádí Matuška (30), pro zjištění výše investičních nákladů je nutné uvažovat výdaje spojené jak s instalací soustavy (cena studie, projektu, dopravy, montáže), tak výdaje spojené s případnými stavebními úpravami. Právě tyto náklady mohou investici značně prodražit. Jak dále Matuška uvádí, investiční náklady jsou úzce spjaté s instalovanou plochou a typem použitých solárních kolektorů. „Zároveň obecně platí, že čím větší je solární soustava, tím nižší jsou měrné investiční náklady na solární soustavu vztahované na 1 m² instalované plochy solárního kolektoru a tím více celkové náklady závisí na ceně solárního kolektoru.“ (30). Matuška dále uvádí, že pro malé soustavy pro rodinné domy představují kolektory 30 % až 40 % celkové ceny instalace a měrné náklady vztahované na 1 m² instalované plochy solárního kolektoru se pohybují v rozmezí 25 až 30 tisíc Kč/m². U soustav nad 50 m² tvoří náklady na kolektory téměř polovinu celkových nákladů a

měrné náklady klesají do rozmezí 15 až 20 tisíc Kč/m². Matuška toto tvrzení podkládá grafem, který autor práce přejímá a uvádí níže.

Graf 5-3: Rozdělení investičních nákladů na solární soustavu (30)



Významnou položkou, která může snížit počáteční investiční náklady, jsou státní dotace. Ty mohou být vypláceny jako určitý podíl investičních nákladů nebo paušálně.

Během provozu solárního systému pak vznikají provozní náklady, které zajišťují provoz soustavy. Matuška (30) mezi ně řadí náklady na pomocnou energii pro pohon solární soustavy, servisní náklady na obsluhu a údržbu zařízení, opravy, pojištění a další průběžně vznikající náklady. Dále uvádí, že náklady vznikající ze spotřeby elektrické energie systémů, které pohánějí solární soustavu, tvoří u malých systémů asi 4 % a u velkých systémů pod 1 % tepelného zisku soustavy. Životnost teplotnosného média činí asi 5 let, náklady na jeho výměnu se odhadují na 40 až 80 Kč/l, oběhová čerpadla mají odhadovanou životnost asi 10 let, zásobníky cca 15 let a celková životnost kolektorů činí asi 30 let.

Pro odhad zisků a související ekonomické úspory ze solární soustavy se vychází z výpočtu tepelných zisků za dané časové období (nejčastěji za 1 rok), lépe řečeno z úspory tepla, které by jinak musel vyrobit jiný tepelný zdroj. Tyto odhady je možné provést pomocí počítačové podpory, Matuška (30) uvádí například programy Polysun a GetSolar.

5.2.1 Jednoduchý výpočet návratnosti solární tepelné soustavy

Autor práce zde uvede několik jednoduchých rovnic, podle kterých se dá vyhodnotit doba návratnosti solární tepelné soustavy. Vychází při tom z existující výpočtové aplikace Matušky a Reinberka (31), která je dostupná na stránkách TZBinfo.

Výchozím bodem je stanovení hodnoty tepelného zisku využitého pro krytí potřeby tepla v aplikaci. Tato hodnota Q_Z se stanoví buď výpočtem pomocí softwarové podpory, nebo měřením na již existující soustavě.

Investiční náklady INV je nutné stanovit s ohledem na výše popsané požadavky – zahrnout všechny související činitele včetně nákladů na potřebné stavební úpravy. Hodnotu INV je možné snížit o hodnotu dotací Dot , které investor na výstavbu solárního tepelného systému obdrží.

Finanční úspory, které investor dosáhne v prvním roce provozování solární soustavy, lze vypočítat dle vztahu

$$Usp = Q_Z \cdot c_{en} \cdot \frac{100}{\eta} \quad (\text{Kč/rok; kWh/rok, Kč/kWh, \%}) \quad (5-32)$$

kde c_{en} je cena nahrazované energie

η je průměrná provozní účinnost původního zdroje tepla

Prostá doba návratnosti se pak dá vypočítat jako

$$PB = \frac{INV - Dot}{Usp} \quad (\text{rok; Kč, Kč, Kč/rok}) \quad (5-33)$$

I zde je však nutné uvažovat změnu hodnoty peněz v čase v podobě diskontu daném diskontní mírou dsc a dále je do výpočtu možné zahrnout i růst cen energií definovaného parametrem ind . Za diskontovanou dobu návratnosti investice DPB pak lze uvažovat ten rok, ve kterém dojde ke splnění podmínky

$$\sum_{t=1}^{DPB} \left(Usp \cdot \frac{(1+ind)^t}{(1+dsc)^t} \right) = Inv - Dot \quad (\text{Kč/rok, \% , - , \% , - ; Kč, Kč}) \quad (5-34)$$

Problematické je stanovení „správné“ hodnoty tepelných zisků Q_Z solární soustavy. Uživatelsky nejpříjemnější je stanovení parametru pomocí příslušné programové podpory, Matuška (32) však uvádí i zjednodušený postup, podle kterého se hledaný parametr dá stanovit „ručním“ výpočtem. Vychází z porovnání teoreticky využitelných tepelných zisků solárních kolektorů Q_t a celkové potřeby tepla Q_p , kterou je potřeba pokrýt. Skutečné využití tepelné zisky solární soustavy pak odpovídají následující podmínce.

$$Q_Z = \min(Q_t ; Q_p) \quad (\text{kWh/rok; kWh/rok, kWh/rok}) \quad (5-35)$$

Roční množství tepla, které je potřeba pro přípravu teplé vody, lze získat jako sumu měsíčních potřeb tepla. Ty se pro každý kalendářní měsíc stanovují dle následující rovnice.

$$Q_{p,m} = 2.778 \cdot 10^{-7} \cdot d \cdot k \cdot \rho \cdot V_d \cdot c_V \cdot (T_{TV} - T_{SV}) \quad (5-36)$$

(kWh/měsíc; -, -, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, m^3 , $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, K, K)

kde d je počet dnů v kalendářním měsíci

k je koeficient zohledňující tepelné ztráty dle konkrétní technologie ohřevu (k nalezení v normě TNI 730302)

ρ je hustota vody

V_d je denní spotřeba teplé vody

c_V je měrná tepelná kapacita vody

T_{TV} a T_{SV} jsou termodynamické teploty teplejší a studenější vody

V letních měsících červenci a srpnu se pak, dle Matušky (33), snižuje spotřeba teplé vody v domácnostech a tento pokles je možné ve výpočtech respektovat. V případě, že by kolektorový systém měl nejen připravovat TUV, ale podílel by se na vytápění objektu, muselo by se potřebné teplo na vytápění k vypočtené hodnotě $Q_{p,m}$ přičíst. V případě, že by kolektorový systém sloužil pro vyhřívání bazénu, vychází výpočet potřebného ročního tepla na vytápění ze znalostí plochy vodní hladiny bazénu, umístění bazénu, teploty vody a teploty okolí.

Teoreticky využitelné tepelné zisky se pro jednotlivé kalendářní měsíce stanoví v souladu s Matuškou (32) dle vztahu

$$Q_{t,m} = 0.9 \cdot [\eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_{T,m}} - a_2 \cdot \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})^2}{G_{T,m}}] \cdot H_{T,den} \cdot d \cdot A_k \cdot (1 - p) \quad (5-37)$$

(kWh/měsíc; -, W/(m²·K), °C, °C, W/m², W/(m²·K²), °C, °C, W/m², kWh/(m²·den), -, m², -)

V této rovnici značí η_0 účinnost kolektoru při nulových tepelných ztrátách (tzv. optická účinnost) a uvádí ji výrobce kolektorů. Koeficienty a_1 a a_2 jsou lineární a kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru a opět je udává výrobce. $t_{k,m}$ představuje střední denní teplotu teplotnosné kapaliny v solárním kolektoru, $t_{e,s}$ je střední venkovní teplota v době slunečního svitu, veličina $G_{T,m}$ odpovídá střednímu dennímu slunečnímu ozáření pro daný sklon a orientaci, $H_{T,den}$ je skutečná denní dávka slunečního ozáření. Veličina d je opět počet dnů v kalendářním měsíci, A_k je plocha apertury solárních kolektorů (plocha, kterou vstupuje do kolektoru nekoncentrované sluneční záření) a konečně p odpovídá hodnota srážky z tepelných zisků solárních kolektorů vlivem tepelných ztrát solární soustavy. Většina z výše uvedených veličin je k dohledání v příslušných normách ČSN EN 12975 a TNI 73 0302. Hodnota ročních teoreticky využitelných tepelných zisků je opět součtem jednotlivých vypočtených měsíčních podílů.

Hodnota skutečných tepelných zisků solární soustavy pak odpovídá dle rovnice 5-35 menší z hodnot Q_t a Q_p .

Jak je z výše uvedených rovnic patrné, ekonomické hodnocení efektivity investice do solárního tepelného systému sice vychází z jiných parametrů, než je tomu u fotovoltaické elektrárny, po zjištění ročních nákladů a tržeb se však projekty hodnotí obdobným způsobem a vychází ze stejných myšlenek. Autor této diplomové práce se proto rozhoduje pro vytvoření simulačního programu pouze pro fotovoltaickou elektrárnu. Důvodem pro tuto volbu je

autorem subjektivně vnímaná vyšší diskutovanost problematiky návratnosti fotovoltaických elektráren v současnosti. Pro demonstraci ekonomických vazeb stačí vytvoření simulačního programu jednoho z výše probíraných solárních systémů, ekonomická efektivita investice se zjišťuje u obou typů solárních systémů obdobným způsobem.

5.3 Vytvoření simulačního programu a jeho vzhled

Pro vytvoření simulačního programu autor práce volí programové prostředí Mathematica od společnosti Wolfram Research (34). Důvodem této volby je autorova neznalost tohoto programového prostředí před vypracováním diplomové práce a možnost seznámit se s jiným softwarem, než jsou běžněji používané programy MS Excel a MATLAB. Autor při volbě a rozhodování vycházel i z doporučení vedoucího této diplomové práce. Vytvořený program bude na CD disku přiložen k této diplomové práci. Pro tvorbu simulačního programu autor vychází z výše uvedených rovnic v kapitole 5.1.1 a výsledky zvolených simulací jsou uvedeny v navazující kapitole.

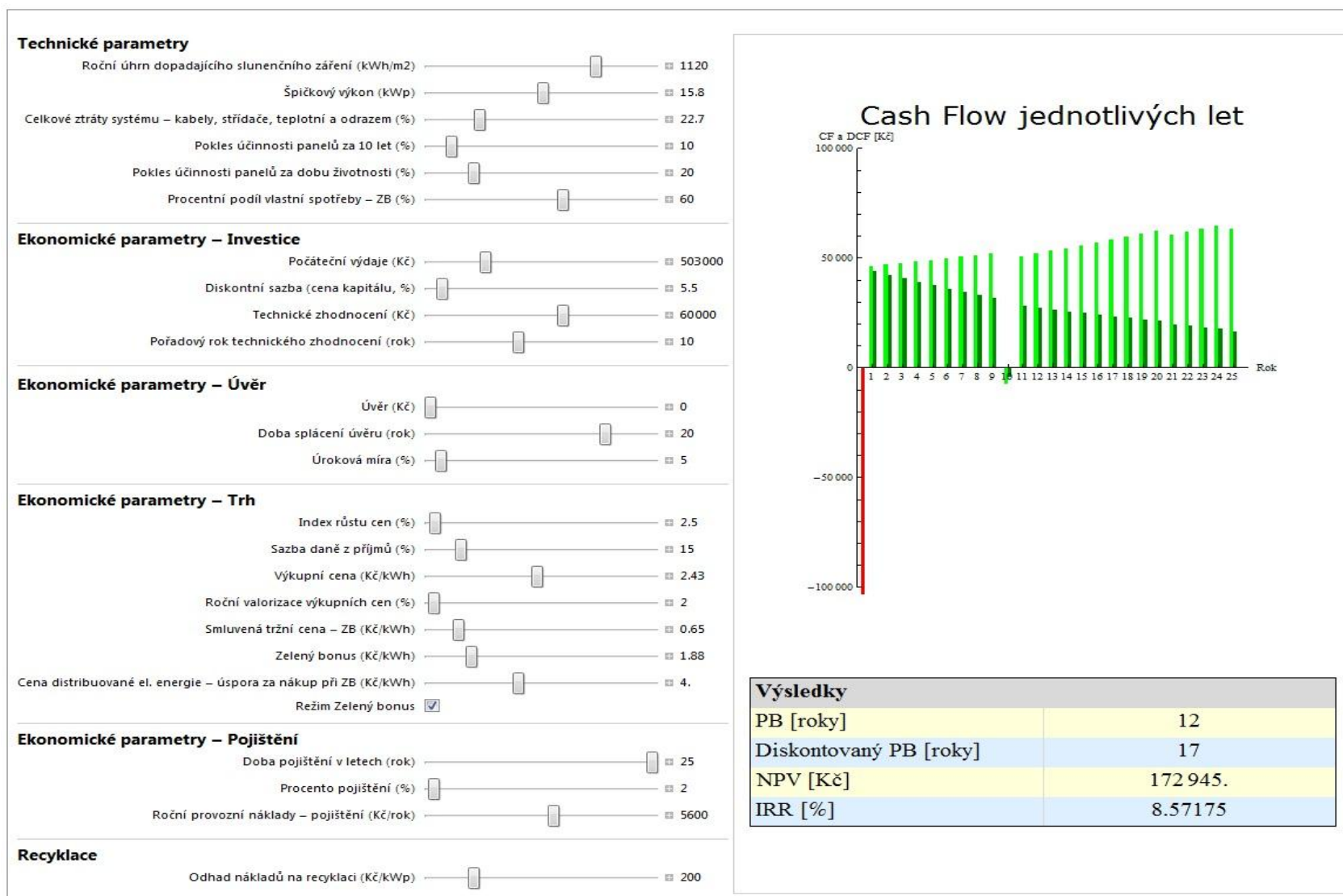
Vytvořený program umožňuje nastavení parametrů uvedených v kapitole 5.1.1. Jednotlivé proměnné jsou volitelné ve vysokém rozsahu hodnot. Posuvníky pro nastavení proměnných jsou v programu uvedeny v levém sloupci, přičemž byly rozděleny do následujících okruhů: Technické parametry, do kterých autor práce zařadil proměnné týkající se technické stránky investice, v pasáži Ekonomické parametry – Investice jsou sdruženy parametry související s počáteční investicí a technickým zhodnocením v průběhu životnosti. Dalším nastavitelným okruhem jsou ekonomické parametry týkající se případného úvěrového financování projektu. Navazuje okruh Ekonomické parametry – Trh, kde lze nastavit parametry týkající se cen elektrické energie a obecné tržní situace. V pasáži Ekonomické parametry – Pojištění může řešitel volit proměnné související s pojištěním fotovoltaické elektrárny a konečně v posledním okruhu nazvaném Recyklace lze měnit výši nákladů na recyklaci. Volba jednotlivých parametrů pomocí posuvníků umožňuje „hrubé“ nastavení hodnot, hodnoty lze zadat i číselně po zmáčknutí symbolu + na pravé straně každého posuvníku.

Na pravé straně programu jsou sdruženy výsledky simulace. Ve vrchní části je uveden sloupcový graf, který ilustruje Cash flow a diskontovaná Cash flow jednotlivých let životnosti projektu. Jelikož by potřebné rozpětí vertikální osy y znemožňovalo přehledné znázornění kladných peněžních toků, byl zvolen rozsah osy y od -100000 Kč do 100000 Kč a vstupní investice znázorněná červeným sloupcem překračuje tento rozsah. Světle zelené sloupce znázorňují Cash flow jednotlivých let, tmavě zelené sloupce znázorňují diskontovaná Cash flow jednotlivých let. Pod tímto grafem se nachází tabulka s výslednými kritérii hodnocení projektu PB (doba návratnosti), DPB (diskontovaná doba návratnosti), NPV (čistá současná hodnota) a IRR (vnitřní výnosové procento). Všechny výsledky se dynamicky mění a přepočítávají při změně parametrů v levém sloupci. Pouze při změně režimu podpory (tlačítko Režim Zelený bonus) je nutné „odrolovat“ tak, aby na okamžik nebyly viditelné výsledky programu, po návratu zpět bude program již přepočítán a výsledky budou korektní. Autorovi práce se tuto skutečnost nepodařilo vhodně ošetřit. Program dále nabízí přehlednou tabulku

peněžních toků jednotlivých let. Tato tabulka se nepře počítává dynamicky se změnou vstupních parametrů. Pro vypočtení aktuálních hodnot výsledků v tabulce je nutné tento výpočet zahájit „ručně“. Tyto tabulky autor práce uvádí v příloze práce. Zároveň uvádí v příloze zdrojový kód programu pro jednu z níže řešených investičních variant. Zdrojové kódy programů budou k této diplomové práci přiloženy i na CD disku.

Vzhled vytvořeného programového prostředí je znázorněný na Obrázku 5-2 na následující stránce.

Obrázek 5-2: Vzhled vytvořeného simulačního programu



6 PŘÍPADOVÉ STUDIE INVESTIC DO FV ELEKTRÁREN

6.1 Hodnocení efektivity investice do fotovoltaické elektrárny v oblasti Chvaleč - Petříkovice

V rámci této diplomové program byl vytvořen v programovém prostředí Mathematica simulační program, který demonstruje vazby ekonomických a technických parametrů a slouží pro hodnocení efektivity investic do fotovoltaických elektráren. Pro demonstraci funkce vytvořeného programu autor práce zhodnotí efektivitu investičního projektu výstavby nové FV elektrárny pro společnost REPRO (35), která má sídlo v Petříkovicích, což je část obce Chvaleč v okrese Trutnov. Jedná se o firmu, která se zabývá zejména povrchovými úpravami materiálů (tryskání, metalizace, nátěry). Majitel společnosti uvažuje o pořízení fotovoltaické elektrárny na střechu své dílny, autor této diplomové práce se pokusí pomocí vytvořeného programu zhodnotit efektivitu investice a případně navrhnout ekonomicky nejvýhodnější FV elektrárnu.

6.2 Parametry FV elektrárny zadané do simulačního programu

V úvahu přichází instalace FV elektrárny na střechu dílny společnosti REPRO. Střecha má odklon -50° od jižního směru a sklon 15° . Celková plocha střechy je cca 500 m^2 . Roční spotřeba elektrické energie činí asi 9000 kWh , přičemž větší podíl elektrické energie se spotřebovává v letních měsících.

Autor práce se pokusí zhodnotit ekonomickou efektivitu investice do tří různých FV elektráren od společnosti Sollaris. Jedná se o elektrárny dodávané „na klíč“ o výkonech 5 kW_p , $15,75 \text{ kW}_p$ a 30 kW_p (36). Všechny 3 elektrárny jsou dodávány s panely Canadian Solar CS6P 250 Watt, plocha střechy je dostatečná pro instalaci každé ze tří uvažovaných elektráren.

Nejprve je nutné pomocí internetové aplikace PVGIS (25) zjistit celkové kombinované systémové ztráty soustavy a roční úhrn dopadajícího záření v dané lokalitě. Bude uvažován již výše zmíněný odklon -50° od jižního směru a optimální sklon panelů, který v dané oblasti a při dané orientaci střechy činí 22° . Dále budou uvažovány systémové ztráty ve výši 10 %. PVGIS (25) pak podává následující výsledky pro navazující použití v autorem vytvořeném simulačním programu: hodnota úhrnu dopadajícího záření $R = 1120 \text{ kWh/m}^2$ a kombinované systémové ztráty $\Delta c = 22,7 \%$.

Další hodnoty zadané do simulačního programu odpovídají údajům nalezených v cenících elektráren společnosti Sollaris (36), údajům z cenového rozhodnutí ERÚ (37), údajům o úvěrech České spořitelny (38) a odhadům autora této diplomové práce. Ceníky elektráren od společnosti Canadian Solar jsou přiloženy v příloze této diplomové práce.

Tabulka 6-1: Parametry zadané do simulačního programu

Zadaný parametr	Symbol veličiny	Jednotka	Varianta		
			1	2	3
Technické parametry					
Roční úhrn dopadajícího záření	R	kWh/m ²	1120	1120	1120
Špičkový výkon elektrárny	P_p	kW _p	5	15.8	30
Celkové kombinované ztráty systému	Δ_c	%	22.7	22.7	22.7
Pokles účinnosti panelů za 10 let	Δ_I	%	10	10	10
Pokles účinnosti panelů za dobu životnosti	Δ	%	20	20	20
Procentní podíl vlastní spotřeby	Sp	%	100	60	35
Ekonomické parametry - investice					
Počáteční výdaje	Inv	Kč	204000	503000	795000
Diskontní sazba (cena kapitálu)	dsc	%	4.5	5.5	6.5
Technické zhodnocení	$Rinv$	Kč	31000	60000	111000
Pořadový rok technického zhodnocení	$rinv$	rok	10	10	10
Ekonomické parametry - úvěr					
Úvěr	$Ú_{v0}$	Kč	0	0	0
Doba splácení úvěru	l	rok	-	-	-
Úroková míra	u	%	-	-	-
Ekonomické parametry - trh					
Index růstu cen	ind	%	2.5	2.5	2.5
Sazba daně z příjmů	dan	%	15	15	15
Výkupní cena	c_v	Kč/kWh	2.99	2.43	2.43
Roční valorizace výkupních cen	val	%	2	2	2
Smluvená tržní cena - ZB	c_t	Kč/kWh	0.65	0.65	0.65
Zelený bonus	c_{ZB}	Kč/kWh	2.44	1.88	1.88
Cena distribuované el. en. - úspora při ZB	c_{USP}	Kč/kWh	4	4	4
Ekonomické parametry - pojištění					
Doba pojištění	dob	rok	25	25	25
Procento pojištění	P_{poj}	%	2	2	2
Roční provozní náklady - pojištění	nsu	Kč/rok	1500	5600	9600
Recyklace					
Odhad nákladů na recyklaci	n_{rec}	Kč/kW _p	200	200	200

Parametry R a Δ_c byly stanoveny pomocí aplikace PVGIS (25), parametry P_p , Δ_1 , Δ , Inv , R_{inv} a r_{inv} pocházejí z ceníků od společnosti Sollaris (36) a jsou přiloženy v příloze této práce. Parametry c_v , a c_{zB} pocházejí z cenového rozhodnutí ERÚ (37) a platí pro období 1.7.2013 až 31.12.2013. Hodnota c_t je odhadem autora práce, který vzniknul srovnáním více, blíže neověřených, internetových zdrojů. Parametry val a nsu pocházejí od konkurenční firmy Solareni (39) a autor práce předpokládá, že obdobné hodnoty parametrů nabízí i společnost Sollaris, jelikož se jedná o podobné fotovoltaické systémy. Mírné odchylky od skutečnosti nebudou hrát v hodnocení investice významnou roli. Parametr Sp je autorem odhadnutý. Roční spotřeba elektrické energie společnosti REPROM činí asi 9 MWh, přičemž většina energie je spotřebovávána během letních měsíců. Parametr Sp odpovídá procentuálnímu podílu vlastní roční spotřeby objektu na celkové roční výrobě FV elektrárny. Diskontní cena kapitálu byla autorem stanovena jako součet průměrné inflace za poslední 3 roky 2.5 % (40) a rizikové prémie 2 % pro variantu 1 (elektrárna 5 kW_p). Investiční náklady ostatních variant jsou vždy vyšší (větší elektrárna je dražší jak z hlediska prvotní investice, tak z hlediska provozních nákladů), investiční projekt je rizikovější a investor bude požadovat vyšší prémii za podstoupené riziko. Rizikové prémie budou tedy činit 3 % u elektrárny 15,8 kW_p a 4 % u varianty 30 kW_p. Způsob financování byl zvolen jako bezúvěrový, možnosti úvěrového financování budou uvedeny v citlivostní analýze v rámci příští kapitoly této práce. Parametr n_{rec} byl autorem odhadnut. Náklady na recyklaci by sice měli převzít výrobci a dovozci FV panelů, určité náklady na recyklaci však provozovateli po ukončení životnosti elektrárny jistě vzniknou.

6.2.1 Výsledky simulace a citlivostní analýzy

Výsledky simulace

Výsledky provedených simulací s parametry uvedenými v tabulce 6-1 jsou shrnuty v následujících tabulkách.

Tabulka 6-2: Výsledky simulace v režimu podpory Zelený bonus

Výsledky pro režim podpory Zelený bonus			
Veličina	Symbol veličiny	Jednotka	Hodnota
Varianta 1 (5 kW_p)			
Prostá doba návratnosti	PB	rok	9
Diskontovaná doba návratnosti	DPB	rok	13
Čistá současná hodnota	NPV	Kč	157605
Vnitřní výnosové procento	IRR	%	10.58
Varianta 2 (15.8 kW_p)			
Prostá doba návratnosti	PB	rok	12
Diskontovaná doba návratnosti	DPB	rok	17
Čistá současná hodnota	NPV	Kč	172945
Vnitřní výnosové procento	IRR	%	8.57

Varianta 3 (30 kW_p)			
Prostá doba návratnosti	<i>PB</i>	rok	12
Diskontovaná doba návratnosti	<i>DPB</i>	rok	20
Čistá současná hodnota	<i>NPV</i>	Kč	119156
Vnitřní výnosové procento	<i>IRR</i>	%	7.98

Tabulka 6-3: Výsledky simulace v režimu podpory Výkupní cena

Výsledky pro režim podpory Výkupní cena			
Veličina	Symbol veličiny	Jednotka	Hodnota
Varianta 1 (5 kW_p)			
Prostá doba návratnosti	<i>PB</i>	rok	20
Diskontovaná doba návratnosti	<i>DPB</i>	rok	>25
Čistá současná hodnota	<i>NPV</i>	Kč	-47421
Vnitřní výnosové procento	<i>IRR</i>	%	2.5
Varianta 2 (15.8 kW_p)			
Prostá doba návratnosti	<i>PB</i>	rok	20
Diskontovaná doba návratnosti	<i>DPB</i>	rok	>25
Čistá současná hodnota	<i>NPV</i>	Kč	-159916
Vnitřní výnosové procento	<i>IRR</i>	%	2.53
Varianta 3 (30 kW_p)			
Prostá doba návratnosti	<i>PB</i>	rok	17
Diskontovaná doba návratnosti	<i>DPB</i>	rok	>25
Čistá současná hodnota	<i>NPV</i>	Kč	-172111
Vnitřní výnosové procento	<i>IRR</i>	%	4.43

Jak je vidět v tabulkách uvedených výše, ekonomicky efektivní je provozovat elektrárny v režimu podpory Zelený bonus. Je to způsobeno tím, že při podpoře formou pevných výkupních cen jsou ceny sice vyšší, nelze však započíst úspora elektrické energie, jelikož si ji provozovatel elektrárny musí od distributora kupovat. V tabulce 6-3 je dobře ilustrovaná „zrádnost“ statických ukazatelů efektivity investice. Pro třetí uvažovanou variantu vychází prostá doba návratnosti 17 let, skutečná (diskontovaná) doba návratnosti investice však překračuje odhadovanou životnost elektrárny 25 let a investice by se tak ve skutečnosti finančně „nevrátila“. Ze všech uvažovaných variant je při režimu Výkupní cena nejméně ztrátová varianta 1. s nejmenšími investičními náklady. Pokud by investor byl ochoten snížit rizikovou prémii u třetí varianty zhruba o 2 %, vyšla by investice efektivní s NPV okolo 0 Kč. Z toho lze usoudit, že režim pevných výkupních cen je vhodný spíše pro fotovoltaické elektrárny větších výkonů, které těží z pevně dané a každoročně valorizované výkupní ceny.

Oproti tomu pro režim podpory Zeleným bonusem jsou efektivní všechny tři uvažované varianty, jak je vidět v tabulce 6-2. Zajímavé je porovnání investičních variant 1 a 2, kdy pro elektrárnu 15.8 kW_p vychází NPV vyšší než u elektrárny 5 kW_p (necelých 173000 Kč oproti

158000 Kč), IRR této varianty je však nižší než IRR elektrárny 5 kW_p (8.57 % oproti 10.58 %). Jedná se o klasický konflikt metod hodnocení investic pomocí *NPV* a *IRR*. Odborná literatura, například i Kalouda (27), považuje v tomto případě *NPV* za kritérium s vyšší vypovídací schopností. Tato volba se zdůvodňuje tím, že cílem podniku a i podnikání je maximalizace své tržní hodnoty potažmo maximalizace bohatství vlastníka a tomuto požadavku lépe vyhovuje kritérium *NPV*. Jako nejvýnosnější se tak jeví investiční projekt 2, čili elektrárna o výkonu 15.8 kW_p. Je však na uvážení investora, jestli se spokojí s tím, že se v případě volby varianty 2 dostane z červených čísel na úrovni diskontovaného Cash flow až v průběhu 17. roku, u malé elektrárny činí totiž kritérium diskontované doby návratnosti 13 let. Za ekonomicky nejméně rentabilní v rámci režimu Zelený bonus lze prohlásit investiční variantu 3, což je 30 kW_p elektrárna. Pokud by však investor měl značné volné finanční prostředky a požadoval by u 30 kW_p varianty stejnou cenu kapitálu jako u 15.8 kW_p varianty (čili 5.5 %), hodnota *NPV* třetí varianty by se zvýšila na 216622 Kč a předběhla by tak ve výnosnosti variantu druhou.

Citlivostní analýza – změna diskontní míry

V další pasáži této kapitoly se autor bude věnovat několika citlivostním analýzám. Analýzy budou zaměřeny na režim podpory Zelený bonus, jelikož všechny 3 uvažované investiční varianty jsou při této formě podpory rentabilní a jsou tedy dobrým výchozím bodem pro simulaci různých stavů.

Jak bylo naznačeno již v předchozím textu, velice významný vliv na rentabilitu investice má uvažovaná cena kapitálu. Metod, jak stanovit vhodnou výši diskontní sazby, je více, většina však vychází ze znalosti interních podnikových finančních údajů a ty autor práce bohužel k dispozici nemá. Lze však provést citlivostní analýzu při změně diskontní sazby a sledovat změnu výsledků, především *NPV*. Výchozí hodnoty *NPV* jsou uvedeny v tabulce 6-2. Pokud by investor měl kladný vztah k riziku a dostatečné množství volných finančních prostředků, které by rád investoval, mohl by všechny tři investiční varianty hodnotit se stejnou hodnotou $dsc = 4.5 \%$. V tomto případě by se výsledné *NPV* jednotlivých variant změnilo následovně:

Tabulka 6-4: Citlivostní analýza – změna *dsc*

Varianta	1	2	3
NPV (Kč)	157605	249601	330883

Jak je v tabulce vidět, změna diskontní sazby se nejsilněji projeví u největší, 30 kW_p elektrárny. Její *NPV* je rázem téměř dvakrát vyšší než *NPV* varianty 1. Rentabilita investičního zámětu záleží tedy především na vztahu investora k riziku, na množství volných peněžních prostředků, které je ochoten investovat a na z toho plynoucího ocenění kapitálu diskontní mírou.

Citlivostní analýza – možnost úvěrového financování

Je možné, že investor nebude mít k dispozici dostatečné množství volných finančních prostředků pro zaplacení vstupní investice a bude si muset vzít úvěr od některé z na trhu dostupných bank. Pro potřeby této práce jsem zvolil analýzu financování pomocí úvěrových produktů Hypotéka ČS, Americká hypotéka a Hypotéka na investice od České spořitelny (38). Všechny tyto produkty nabízejí úrokovou míru od asi 3.5 % s dobou splácení od deseti let výše. Nejedná se však o zcela přesné hodnoty, ty by byly dostupné až po kontaktování banky a vyjednání konkrétních podmínek splácení úvěru. Pro potřeby ukázky vazeb mezi úvěrovým financováním a efektivitou investic jsou tyto přibližné hodnoty však dostatečně přesné. Autor bude pro potřeby simulace uvažovat úrokovou míru 5 % a pokusí se nalézt takovou dobu splácení a takovou možnou výši úvěru, aby byl splněn požadavek výnosnosti investovaného kapitálu.

Tabulka 6-5: Citlivostní analýza – možnost úvěrového financování investice

Výsledky citlivostní analýzy - úvěrové financování			
Veličina	Symbol veličiny	Jednotka	Hodnota
Varianta 1 (5 kW_p)			
Výše možného úvěru	Uv_0	Kč	150000
Doba splácení úvěru	l	rok	16
Celkově zaplacená částka za dobu l	$\sum (Ur_r + Um_r)$	Kč	221448
Prostá doba návratnosti	PB	rok	19
Diskontovaná doba návratnosti	DPB	rok	25
Čistá současná hodnota	NPV	Kč	2121
Vnitřní výnosové procento	IRR	%	4.57
Varianta 2 (15.8 kW_p)			
Výše možného úvěru	Uv_0	Kč	180000
Doba splácení úvěru	l	rok	20
Celkově zaplacená částka za dobu l	$\sum (Ur_r + Um_r)$	Kč	288873
Prostá doba návratnosti	PB	rok	16
Diskontovaná doba návratnosti	DPB	rok	25
Čistá současná hodnota	NPV	Kč	338
Vnitřní výnosové procento	IRR	%	5.51
Varianta 3 (30 kW_p)			
Výše možného úvěru	Uv_0	Kč	134000
Doba splácení úvěru	l	rok	20
Celkově zaplacená částka za dobu l	$\sum (Ur_r + Um_r)$	Kč	215050
Prostá doba návratnosti	PB	rok	14
Diskontovaná doba návratnosti	DPB	rok	25
Čistá současná hodnota	NPV	Kč	679
Vnitřní výnosové procento	IRR	%	6.51

Ve všech uvažovaných případech autor hledal úvěr, při kterém je výnosnost investice rovna požadované výnosnosti dané diskontní mírou. Platí tedy přibližně $dsc = IRR$ a $NPV = 0$. Diskontovaná doba návratnosti se v takovém případě samozřejmě rovná maximální možné době, čili 25 let. Jak je patrné za výše uvedené tabulky, na nákup elektrárny 5 kW_p by si investor mohl vzít úvěr ve výši 150000 Kč se splatností 16 let a financovat tak asi 74 % výše vstupní investice. Celkově by za 16 let zaplatil na splátkách 221448 Kč, což odpovídá asi 148 % původního úvěru. Ukazatel krytí dluhové služby *DSCR* se při tomto úvěru pohybuje v rozmezí 36 % až 47 % a investor by tak musel krýt splácení úvěru z jiných příjmů své podnikatelské činnosti.

Nejvyšší částku by si mohl investor půjčit na financování elektrárny 15.8 kW_p. A sice 180000 Kč s dobou splatnosti 20 let. Úvěrem by pokryl 36 % investičních nákladů, celkově by musel splatit 288873 Kč, což činí 160 % půjčky. Banka by finance na investici pravděpodobně poskytla, parametr *DSCR* se pohybuje v rozmezí 94 % až 134 %, což znamená, že si projekt sám vydělává dostatek zdrojů na krytí pravidelných splátek.

Investiční projekt elektrárny 30 kW_p by unesl úvěr ve výši 134000 Kč s dobou splatnosti 20 let. To odpovídá pouhým 17 % vstupní investice. Celkově by investor za úvěr musel zaplatit 215050 Kč, což činí 160 % původní částky. Tento projekt má velice příznivý parametr *DSCR*, leží totiž v rozmezí 319 % až 439 %.

Analýza možnosti úvěrového financování projektů dopadla dle očekávání. Nejlépe dopadla varianta druhá, která má nejvyšší hodnotu *NPV* a umožňuje tak úvěr o výši 180000 Kč, což je ze všech variant nejvyšší obnos. Zda by banka na poskytnutí takového úvěru přistoupila, autor diplomové práce nedokáže posoudit, na ukázkou souvislosti mezi úvěrovým financováním a ukazateli výnosnosti investic jsou výše uvedené modelové případy dostačující a názorné.

7 ZÁVĚR A ZHODNOCENÍ PRÁCE

Tato diplomová práce se zabývá životním cyklem solárních elektráren ve smyslu elektráren fotovoltaických a solárních tepelných soustav. Práce je rozdělena do sedmi kapitol, ve kterých je postupně dosahováno zadaných cílů.

První kapitola této práce je kapitolou úvodní, ve které autor seznamuje čtenáře se zákonnou definicí obnovitelných zdrojů energie a zároveň zde představuje cíle, kterých hodlá v jednotlivých kapitolách dosáhnout.

V navazující kapitole nazvané „Rešerše současného stavu problematiky v oblasti fotovoltaických a solárních technologií“ autor prezentuje informace o současném využití obnovitelných zdrojů energie ve státech Evropské unie, přičemž vychází z údajů ze své bakalářské práce, která se také zabývala problematikou obnovitelných zdrojů energie. Dále uvádí i některé prognózy ukazující předpokládaný vývoj použití fotovoltaických a solárních tepelných technologií v České republice v časovém horizontu příštích 50 let. Ačkoliv v současnosti dochází v ČR k určitému útlumu ve výstavbě fotovoltaických elektráren díky v minulosti nevhodně zvoleným státním cenovým politikám, v jiných evropských zemích je situace odlišná a fotovoltaika je tak zcela jistě perspektivním oborem energetiky. Stejně tak přibývá, ve snaze o ekologičtější výrobu tepla pro domácnosti a finanční úspory za vytápění, aplikací se solárními kolektory a znalost používaných technologií je znalostí pro energetika nutnou.

Následuje kapitola třetí s názvem „Specifikace a parametrizace jednotlivých technologií“, ve které autor uvádí přehled používaných solárních kolektorů a soustav, stejně jako přehled v současnosti nejpoužívanějších fotovoltaických článků a fotovoltaických panelů. Solární kolektory a fotovoltaické panely jsou „srdcem“ svých systému, dochází v nich přeměně energie slunečního záření na tepelnou nebo elektrickou energii.

V kapitole nazvané v souladu se zadáním „Konkretizace typických aplikací a realizací FV elektrárny a solární tep. soustavy a určení všech souvisejících parametrů“ prezentuje autor další prvky fotovoltaických a solárních tepelných systémů, bez kterých by dané technologie nebylo možné provozovat. Zároveň se zde pokusil o nastínění ekonomického aspektu výroby fotovoltaických elektráren. Čtenář v této kapitole nalezne i přehled technologií používaných k výrobě fotovoltaických panelů na počátku jeho životního cyklu a nastínění problematiky recyklace fotovoltaických aplikací spolu se současným legislativním stavem v České republice.

V páté kapitole této práce autor vytváří matematické modely fotovoltaické elektrárny a solární tepelné soustavy. Modely jsou dle zadání práce vytvořeny za účelem demonstrovat ekonomické vazby v rámci fotovoltaických a solárních systémů s důrazem na výpočet ukazatelů efektivity investic. Mezi nejpoužívanější, a proto i v této práci vypočtené, ekonomické ukazatele efektivity investic patří bezesporu prostá doba návratnosti, diskontovaná doba návratnosti, čistá současná hodnota a vnitřní výnosové procento investičního projektu. Jelikož si jsou zákonitosti ekonomického hodnocení efektivity projektů

v oblasti fotovoltaiky a solárních tepelných soustav v mnohém podobné a shodné, rozpracovává autor důsledně pouze metodiku ekonomického hodnocení efektivity investice pro fotovoltaické elektrárny a u solárních tepelných soustav pouze ukazuje, jakým způsobem se dosáhne vstupních parametrů pro ekonomické hodnocení.

Autor práce vytvořil pro demonstraci ekonomických vazeb simulační program v programovém prostředí Mathematica, pomocí kterého lze hodnotit ekonomickou efektivitu a návratnost investic do fotovoltaických elektráren. Program Mathematica autor vybírá z důvodů neznalosti tohoto softwarového prostředí před vytvořením této diplomové práce. V rámci jejího vypracování autor proniknul do základů programování v Mathematice a využil tyto nově nabyté znalosti pro vytvoření simulačního programu pro výpočet efektivity a návratnosti třech investičních variant. Tyto tři případové studie investic jsou prezentovány v šesté kapitole této práce. Jedná se o varianty střešních instalací fotovoltaický elektráren o výkonu 5 kW_p , 15.75 kW_p a 30 kW_p na Trutnovsku, na střeše společnosti REPROM sídlící v Chvalči - Petřikovicích. Z výsledných hodnot simulací autor zde vybírá diskontovanou dobu návratnosti investic a čistou současnou hodnotu. Hodnoty *DPB* činí 13 let pro variantu elektrárny 5 kW_p , 17 let pro variantu 15.75 kW_p a 20 let pro největší uvažovanou elektrárnu. Čisté současné hodnoty investičních variant ve stejném pořadí vyšly 157605 Kč, 172945 Kč, potažmo 119156 Kč. Za ekonomicky nejvýnosnější lze proto označit variantu druhou, elektrárnu o výkonu 15.75 kW_p . Kalkulačky vypočítávající návratnost investic, které jsou dostupné na internetu, většinou uvádějí pouze prostou dobu návratnosti. To je však při uvažování životnosti systémů přes 20 let nepřijatelné a je proto nutné pracovat s časovou hodnotou peněz.

V šesté kapitole čtenář dále nalezne dvě citlivostní analýzy. Autor práce zde prezentuje citlivost změn výsledných ekonomických ukazatelů na změnu diskontní míry a možnost úvěrového financování investic. Rentabilita investičního zámětu záleží především na vztahu investora k riziku, na množství volných peněžních prostředků, které je ochoten investovat a na z toho plynoucího ocenění kapitálu diskontní mírou. Z hlediska možného úvěru dopadla nejlépe opět druhá investiční varianta, která při požadované výnosnosti „unes“ úvěr ve výši 180000 Kč při dvacetileté době splatnosti.

Instalace fotovoltaické elektrárny nebo solárního tepelného systému je dnes pro většinu investorů spíše otázkou ekonomickou než otázkou ekologickou. Zejména u fotovoltaických aplikací se v současnosti dramaticky snižuje podpora ze strany státu a návratnost těchto investic se tak oproti dřívějším stavům prodlužuje až na hranici technologické životnosti aplikací. Chybná česká legislativa umožnila v minulosti veliký nárůst počtu fotovoltaických elektráren, jejichž návratnosti se i díky stále zlevňujícím technologiím pohybovaly v rozmezí několika let. Dnes je tomu ovšem jinak a každý případný investor musí pečlivě zvážit, jestli investice bude efektivní. A právě k tomuto posouzení může přispět zde předložená diplomová práce.

SOUPIS BIBLIOGRAFICKÝCH CITACÍ

- [1] Evropský parlament. Směrnice evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES. *EUR-Lex*. [Online] 2009. [Citace: 19. 11 2012.] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:CS:PDF>.
- [2] ŠŤASTNÝ, Martin. *Conergy, s.r.o.* [Online] 2011. [Citace: 19. 11 2012.] http://www.conergy.cz/PortalData/1/Resources/master/images/about_us/presse/2011-09_AZelektro_5_2011_Historie_vyuziti_solarni_energie.pdf.
- [3] KUBÍN, David. *Současný stav a potenciál využití obnovitelných zdrojů v EU*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. str. 106. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Macháček, Ph.D..
- [4] Evropská komise. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). *Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport*. [Online] 2012. [Citace: 19. 11 2012.] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eur.htm>.
- [5] Nezávislá energetická komise. Závěrečná zpráva NEK. *Vláda České republiky*. [Online] 2008. [Citace: 19. 11 2012.] <http://www.vlada.cz/assets/media-centrum/aktualne/Pracovni-verze-k-oponenture.pdf>.
- [6] Energetický regulační úřad. Roční zprávy o provozu ES ČR za rok 2011. *ERÚ*. [Online] 2012. [Citace: 19. 11 2012.] http://www.eru.cz/dias-browse_articles.php?parentId=131&deep=off&type=.
- [7] Fotovoltaika – vývoj investičních nákladů. *Czech Renewable Energy Agency*. [Online] 2011. [Citace: 20. 1 2013.] <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika/fv-vyvoj-investicnich-nakladu>.
- [8] MATUŠKA, Tomáš. *Solární tepelné soustavy*. Praha : Společnost pro techniku prostředí - odborná sekce Alternativní zdroje energie, 2009. 978-80-02-02186-5.
- [9] —. Solární kolektory. *Solární laboratoř (SOLab)*. [Online] http://solab.fs.cvut.cz/Podklady/solarni_kolektory.pdf, 2009. [Citace: 22. 11 2012.]
- [10] Slunce prodlouží bazénovou sezónu. *lepebydlet.cz*. [Online] Media factory, 2011. [Citace: 22. 11 2012.] <http://www.lepebydlet.cz/zahrada/slunce-prodlouzi-bazenovou-sezonu/>.
- [11] MURTINGER, Karel, BERANOVSKÝ, Jiří a TOMEŠ, Milan. *Fotovoltaika. Elektrická energie ze Slunce*. Praha : EkoWATT, 2009. 978-80-87333-01-3.
- [12] Fotovoltaika pro každého. *Česká agentura pro obnovitelné zdroje energie*. [Online] Czech RE Agency, 2009. [Citace: 22. 11 2012.] <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika>.
- [13] ZEMÁNEK, Roman. Fotovoltaický panel (modul). *Fotovoltaika.falconis*. [Online] 2009. [Citace: 22. 11 2012.] <http://fotovoltaika.falconis.cz/fotovoltaika/fotovoltaicky-panel.php>.

- [14] LIBRA, Martin a POULEK, Vladislav. *Fotovoltaika, teorie i praxe využití solární energie*. Praha : ILSA, 2010. 978-80-904311-5-7.
- [15] Unikátní solární elektrárna ve Španělsku pracuje i v noci. *E15*. [Online] 2012. [Citace: 22. 11 2012.] <http://zpravy.e15.cz/byznys/prumysl-a-energetika/unikatni-solarni-elektrarna-ve-spanelsku-pracuje-i-v-noci-753668>.
- [16] Ostrovní systémy (stand alone, off-grid). *Solarenavi*. [Online] 2012. [Citace: 22. 11 2012.] <http://www.solarenavi.cz/slunecni-elektrarny/typy-instalaci/off-grid-ostrovn-system/>.
- [17] Systémy připojené na síť (grid-on, grid-connected). *Solarenavi*. [Online] 2012. [Citace: 22. 11 2012.] <http://www.solarenavi.cz/slunecni-elektrarny/typy-instalaci/fve-pripojene-na-sit/>.
- [18] POULEK, Vladislav a LIBRA, Martin. Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů. *FCC Public, časopisy a knihy navazující na tradici české odborné literatury*. [Online] Březen 2010. [Citace: 3. 3 2013.] <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40646.pdf>.
- [19] APPELYARD, David. Light Cycle: Recycling PV Materials. *Renewable Energy World*. [Online] 22. 4 2009. [Citace: 3. 3 2013.] <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2009/04/light-cycle-recycling-pv-materials>.
- [20] NOVOTNÝ, Jan, PTÁČEK, Michal a MATOUŠEK, Antonín. *Recyklace fotovoltaických elektráren*. Brno : Vysoké učení technické, FEKT, Ústav elektroenergetiky, 2013. Prezentace.
- [21] RC: Úspora prostoru s vnitřním výměníkem tepla. *GEA Farm Technologies*. [Online] 2012. [Citace: 23. 11 2012.] http://www.gea-farmtechnologies.com/cz/cz/bu/milking_cooling/cooling/5/rc/default.aspx.
- [22] Příslušenství pro nerezové a ocelové nádrže. *KP MARK*. [Online] 2012. [Citace: 23. 11 2012.] <http://www.kpmark.cz/katalog-produktu/nahradni-dily/nerezove-zasobniky-a-ohrivace-vody/>.
- [23] MATUŠKA, Tomáš. Solární kolektory a solární soustavy pro obytné domy. *Český svaz vědeckotechnických společností*. [Online] 2009. [Citace: 13. 1 2013.] http://www.csvts.cz/csse/Udalosti/2009/Strechy/Matuska_Solarni_kolektory_tepelne_soustavy.pdf.
- [24] —. Solární soustavy. [Online] 2009. [Citace: 22. 11 2012.] http://users.fs.cvut.cz/~matustom/SE02-solarni_soustavy.pdf.
- [25] Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps. *European Commission*. [Online] 2013. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>.

- [26] CHMMELA, Michal. Skripta. *Ekonomika a řízení*. Brno : Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, VUT v Brně, 2007.
- [27] KALOUDA, František. *Finanční řízení podniku*. Plzeň : Aleš Čeněk, 2011. str. 299. ISBN 978-80-7380-315-5.
- [28] ŘEHOŘOVÁ, Pavla a EXNEROVÁ, Marcela. *Fotovoltaická energie v České republice v 21. století*. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2011. ISSN 0572-3043.
- [29] Informační systém VŠFS. *Vysoká škola finanční a správní*. [Online] 2007. https://is.vsfcs.cz/el/6410/leto2007/BP_FAP/FA_LS07_3.pr.21.3.pdf.
- [30] MATUŠKA, Tomáš. Ekonomika solárních tepelných soustav I. *TZBinfo*. [Online] 2011. <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/7072-ekonomika-solarnich-tepelnych-soustav-i>.
- [31] MATUŠKA, Tomáš a REINBERK, Zdeněk. Návratnost solární tepelné soustavy. *TZBinfo*. [Online] 2013. <http://oze.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/134-navratnost-solarni-tepelne-soustavy>.
- [32] MATUŠKA, Tomáš. Zjednodušená bilance solárního kolektoru. *TZBinfo*. [Online] 2011. <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/7115-zjednodusena-bilance-solarniho-kolektoru>.
- [33] —. Zjednodušená bilance solárního kolektoru - Zjednodušený výpočtový postup energetického hodnocení solárních soustav podle TNI 73 0302. *TZBinfo*. [Online] 2011. <http://oze.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/131-zjednodusena-bilance-solarniho-kolektoru>.
- [34] Wolfram Mathematica 9. *Wolfram*. [Online] 2013. <http://www.wolfram.com/mathematica/>.
- [35] Reprom, Ing. Vladimír Strnádek. *REPROM*. [Online] 2011. <http://www.reprom.cz/>.
- [36] Ceníky elektráren na klič. *Sollaris, slunenční elektrárny*. [Online] 2013. <http://www.sollaris.cz/slunecni-elektrarny/ceniky-elektarren-na-klic/>.
- [37] Výše výkupních cen a zelených bonusů. *TZBinfo*. [Online] TZB, 2013. <http://www.tzb-info.cz/vyse-vykupnich-cen-a-zelenych-bonusu>.
- [38] Vyberte si úvěr. *Česká spořitelna*. [Online] Česká spořitelna, 2013. https://www.csas.cz/banka/appmanager/portal/banka?_nfpb=true&_pageLabel=credits_product&docid=internet/cs/porovnavacuveru_prod_iepb.xml.
- [39] Fotovoltaika, Instalace na klič. *SOLARENVI*. [Online] Solarenavi, 2013. <http://solarenavi.cz/slunecni-elektrarny/produkty/instalace-na-klic/fotovoltaicka-elektrarna-4-18-kwp-na-klic/>.

- [40] Inflace - druhy, definice, tabulky. *Český statistický úřad*. [Online] 2013.
http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/mira_inflace.

PŘÍLOHY

Příloha A – Zdrojový kód simulace varianty 15.75 kW_p

```
Remove["Global`*"]
```

```
Manipulate[
```

```
  Grid[
```

```
    {{Graphics[{RGBColor[255, 0, 0], Rectangle[{0.5, 0}, {1, -
CF0}],
      RGBColor[0., 200, 0],
      Rectangle[{1.5, 0}, {2, CF[1]}], Rectangle[{3.5, 0}, {4,
CF[2]}], Rectangle[{5.5, 0}, {6, CF[3]}], Rectangle[{7.5, 0},
{8, CF[4]}], Rectangle[{9.5, 0}, {10, CF[5]}], Rectangle[{11.5,
0}, {12, CF[6]}], Rectangle[{13.5, 0}, {14, CF[7]}],
Rectangle[{15.5, 0}, {16, CF[8]}], Rectangle[{17.5, 0}, {18,
CF[9]}], Rectangle[{19.5, 0}, {20, CF[10]}], Rectangle[{21.5,
0}, {22, CF[11]}], Rectangle[{23.5, 0}, {24, CF[12]}],
      Rectangle[{25.5, 0}, {26, CF[13]}], Rectangle[{27.5, 0},
{28, CF[14]}], Rectangle[{29.5, 0}, {30, CF[15]}],
Rectangle[{31.5, 0}, {32, CF[16]}],
      Rectangle[{33.5, 0}, {34, CF[17]}], Rectangle[{35.5, 0},
{36, CF[18]}], Rectangle[{37.5, 0}, {38, CF[19]}],
Rectangle[{39.5, 0}, {40, CF[20]}],
      Rectangle[{41.5, 0}, {42, CF[21]}], Rectangle[{43.5, 0},
{44, CF[22]}], Rectangle[{45.5, 0}, {46, CF[23]}],
Rectangle[{47.5, 0}, {48, CF[24]}],
      Rectangle[{49.5, 0}, {50, CF[25]}], RGBColor[0., 0.5, 0],

      Rectangle[{2, 0}, {2.5, DCF[1]}], Rectangle[{4, 0},
{4.5, DCF[2]}], Rectangle[{6, 0}, {6.5, DCF[3]}], Rectangle[{8,
0}, {8.5, DCF[4]}],
      Rectangle[{10, 0}, {10.5, DCF[5]}], Rectangle[{12, 0},
{12.5, DCF[6]}], Rectangle[{14, 0}, {14.5, DCF[7]}],
Rectangle[{16, 0}, {16.5, DCF[8]}],
      Rectangle[{18, 0}, {18.5, DCF[9]}], Rectangle[{20, 0},
{20.5, DCF[10]}], Rectangle[{22, 0}, {22.5, DCF[11]}],
Rectangle[{24, 0}, {24.5, DCF[12]}], Rectangle[{26, 0}, {26.5,
DCF[13]}], Rectangle[{28, 0}, {28.5, DCF[14]}], Rectangle[{30,
0}, {30.5, DCF[15]}], Rectangle[{32, 0}, {32.5, DCF[16]}],
Rectangle[{34, 0}, {34.5, DCF[17]}], Rectangle[{36, 0}, {36.5,
DCF[18]}], Rectangle[{38, 0}, {38.5, DCF[19]}], Rectangle[{40,
0}, {40.5, DCF[20]}],
      Rectangle[{42, 0}, {42.5, DCF[21]}], Rectangle[{44, 0},
{44.5, DCF[22]}], Rectangle[{46, 0}, {46.5, DCF[23]}],
      Rectangle[{48, 0}, {48.5, DCF[24]}], Rectangle[{50, 0},
{50.5, DCF[25]}]}],
```

```

    If[TlacZB, For[r=1, r<26, r++, T[r]=Tc[r]], For[r=1, r<26,
r++, T[r]=Tvyk[r]]];

    Ev=R*Pp*((100-deltaC)/100);
    For[r=1, r<11, r++, (Evyr[r])=Ev*(1-((r-
1)*delta/(9*100)))]];
    For[r=11, r<26, r++, (Evyr[r])=Ev*(1-((r-1)*(delta2-
delta)/(24*100)))-(Ev-Evyr[10])];
    Cv[1]=cv;
    For[r=2, r<26, r++, (Cv[r])=(Cv[r-1]/100*val+Cv[r-1])];
    For[r=1, r<26,
r++, (Tvyk[r])=(Cv[r])*(Evyr[r])*(1+ind/100)^(r-1)];
    For[r=1, r<26, r++, (TvykZB[r])=ct*(Evyr[r])*((100-
sp)/100)*(1+ind/100)^(r-1)];
    For[r=1, r<26, r++, (TZB[r])=cZB*(Evyr[r])*(1+ind/100)^(r-
1)];
    For[r=1, r<26,
r++, (TUSP[r])=cUSP*(Evyr[r])*((sp)/100)*(1+ind/100)^(r-1)];
    For[r=1, r<26, r++, (Tc[r])=(TvykZB[r])+(TZB[r])];
    For[r=1, r<25, r++, If[r<dob+1,
(Nakl[r])=ppoj/100*CF0+nsu*(1+ind/100)^(r-
1), (Nakl[r])=nsu*(1+ind/100)^(r-1) ]];
    If[25<dob+1, (Nakl[25])=ppoj/100*CF0+nsu*(1+ind/100)^(25-
1)+nrec*Pp, (Nakl[25])=nsu*(1+ind/100)^(25-1)+nrec*Pp ];
    For[r=1, r<rinv, r++, (Odp[r])=CF0/20];
    For[r=rinv, r<21, r++, (Odp[r])=((CF0-Sum[Odp[r], {r,
(rinv-1)}])+inv)/(21-rinv)];
    If[rinv>20, For[r=21, r<rinv, r++, Odp[r]=0];
Odp[rinv]=inv; For[r=rinv+1, r<26, r++, Odp[r]=0], For[r=21,
r<26, r++, Odp[r]=0] ];
    N[H=uv0*((1+u/100)^1)*((1+u/100-1)/((1+u/100)^1-1))];

    U=u; Uv0=uv0; L=1; Dsc=dsc/100; cF0=CF0; INV=inv;

    (Ur[1])=U/100*Uv0;
    N[(Um[1])=H-(Ur[1])];
    N[(Uv[1])=Uv0-(Um[1])];

    For[w=1, w<20, w++,
    For[r=2, r<26, r++, (Ur[r])=0];
    For[r=2, r<(L+1), r++, (Ur[r])=U/100*(Uv[r-1])];
    For[r=2, r<26, r++, (Um[r])=0];
    For[r=2, r<(L+1), r++, (Um[r])=H-(Ur[r])];
    For[r=2, r<26, r++, (Uv[r])=0];
    For[r=2, r<(L), r++, (Uv[r])=(Uv[r-1])-(Um[r])];];

    For[r=1, r<26, r++, (Znezd[r])=(T[r])-(Nakl[r])-(Odp[r])-(
Ur[r])];
    For[r=1, r<26, r++, If[(Znezd[r])>0, ZD[r]=Znezd[r],
ZD[r]=0]];

```

```

For[r=1, r<26, r++, DP[r]=ZD[r]*dan/100];
For[r=1, r<26, r++, Zcist[r]=Znezd[r]-DP[r]];
If[TlacZB, For[r=1, r<26, r++, Pprij[r]=Zcist[r]+Odp[r]-
Um[r]+TUSP[r]], For[r=1, r<26, r++, Pprij[r]=Zcist[r]+Odp[r]-
Um[r]]];
For[r=1, r<rinv, r++, CF[r]=Pprij[r]];
CF[rinv]=Pprij[rinv]-inv;
For[r=rinv+1, r<26, r++, CF[r]=Pprij[r]];
For[r=1, r<26, r++, DCF[r]=CF[r]/(1+dsc/100)^r];
For[r=1, r<26, r++, KDCF[r]=Sum[DCF[r], {r, r}]-cF0];
For[r=1, r<26, r++, KCF[r]=Sum[CF[r], {r, r}]-cF0];
For[r=1, r<26, r++, If[(Um[r])+(Ur[r])==0, DSCR[r]="-
", DSCR[r]=100*(Zcist[r]+Odp[r]+Ur[r])/(Um[r]+Ur[r])]];

For[r=1, r<26, r++, If[KDCF[r]<0, DPB=r+1, r++]];
If[DPB>25, DPB="Víc než 25 let", DPB=DPB];
If[KDCF[1]>0, DPB=1, DPB=DPB];

For[r=1, r<26, r++, If[KCF[r]<0, PB=r+1, r++]];
If[PB>25, PB="Víc než 25 let", PB=PB];
If[KCF[1]>0, PB=1, PB=PB];

IRR=100*irr/.FindRoot[-cF0+CF[1]*(1+irr)^-
1+CF[2]*(1+irr)^-2+CF[3]*(1+irr)^-3+CF[4]*(1+irr)^-
4+CF[5]*(1+irr)^-5+CF[6]*(1+irr)^-6+CF[7]*(1+irr)^-
7+CF[8]*(1+irr)^-8+CF[9]*(1+irr)^-9+CF[10]*(1+irr)^-
10+CF[11]*(1+irr)^-11+CF[12]*(1+irr)^-12+CF[13]*(1+irr)^-
13+CF[14]*(1+irr)^-14+CF[15]*(1+irr)^-15+CF[16]*(1+irr)^-
16+CF[17]*(1+irr)^-17+CF[18]*(1+irr)^-18+CF[19]*(1+irr)^-
19+CF[20]*(1+irr)^-20+CF[21]*(1+irr)^-21+CF[22]*(1+irr)^-
22+CF[23]*(1+irr)^-23+CF[24]*(1+irr)^-24+CF[25]*(1+irr)^-25==0,
{irr,0}];

PlotLabel →Style["Cash Flow jednotlivých let","Label",
FontSize→ 25],

Axes → True, AxesLabel→{"Rok","CF a DCF [Kč]"},PlotRange
→ {{0, 52}, {-100000, 100000}}, Ticks → {{{2, 1}, {4, 2}, {6,
3}, {8, 4}, {10, 5}, {12, 6}, {14, 7}, {16, 8}, {18, 9}, {20,
10}, {22, 11}, {24, 12}, {26, 13}, {28, 14}, {30, 15}, {32,
16}, {34, 17}, {36, 18}, {38, 19}, {40, 20}, {42, 21}, {44,
22}, {46, 23}, {48, 24}, {50, 25}}, Automatic}, AspectRatio→
20/15, ImageSize→{500,500}},

{data={"PB [roky]",PB}, {"Diskontovaný PB
[roky]",DPB}, {"NPV [Kč]",N[KDCF[25]]}, {"IRR [%]",N[IRR]}};
Style[Text@Grid[Prepend[data,{Style["Výsledky",Bold]}],

Background→{None,{LightGray,{LightYellow,LightBlue}}},Dividers
→{{Black,{LightGray}, Black},{Black,LightGray,{False},

```

```
Black}}, Alignment→{{Left, Center}}, ItemSize→{{20, 20}}, Frame→Dar
ker[Gray, .6], ItemStyle→20, Spacings→{Automatic, 1}}}],
```

```
Spacings→ {Automatic, 7}},
```

```
Delimiter, Style["Technické parametry", Black, FontSize→15,
Bold],
```

```
{{R, 1120, "Roční úhrn dopadajícího slunečního záření
(kWh/m2)"}, 1, 1500, 10, Appearance→"Labeled"},
{{Pp, 15.8, "Špičkový výkon (kWp)"}, 1, 30, 0.1,
Appearance→"Labeled"},
{{deltaC, 22.7, "Celkové ztráty systému - kabely, střídače,
teplotní a odrazem (%)"}, 0, 100, 0.5, Appearance→"Labeled"},
{{delta, 10, "Pokles účinnosti panelů za 10 let (%)"}, 0,
100, 0.5, Appearance→"Labeled"},
{{delta2, 20, "Pokles účinnosti panelů za dobu životnosti
(%)"}, 0, 100, 0.5, Appearance→"Labeled"},
{{sp, 60, "Procentní podíl vlastní spotřeby - ZB (%)"}, 0,
100, 1, Appearance→"Labeled"},
```

```
Delimiter, Style["Ekonomické parametry - Investice", Black,
FontSize→15, Bold],
```

```
{{CF0, 503000, "Počáteční výdaje (Kč)"}, 0.1, 2000000, 1000,
Appearance→"Labeled"},
{{dsc, 5.5, "Diskontní sazba (cena kapitálu, %)"}, 0, 100, 0.1,
Appearance→"Labeled"},
{{inv, 60000, "Technické zhodnocení (Kč)"}, 0, 100000, 5000,
Appearance→"Labeled"},
{{rinv, 10, "Pořadový rok technického zhodnocení (rok)"}, 0,
25, 1, Appearance→"Labeled"},
```

```
Delimiter, Style["Ekonomické parametry - Úvěr", Black,
FontSize→15, Bold],
```

```
{{uv0, 0, "Úvěr (Kč)"}, 0, 2000000, 5000,
Appearance→"Labeled"},
{{l, 20, "Doba splácení úvěru (rok)"}, 1, 25, 1,
Appearance→"Labeled"},
{{u, 5, "Úroková míra (%)"}, 0.1, 100, 0.1,
Appearance→"Labeled"},
```

```
Delimiter, Style["Ekonomické parametry - Trh", Black,
FontSize→15, Bold],
```

```
{{ind, 2.5, "Index růstu cen (%)"}, 0, 100, 0.1,
Appearance→"Labeled"},
{{dan, 15, "Sazba daně z příjmů (%)"}, 1, 100, 1,
Appearance→"Labeled"},
{{cv, 2.43, "Výkupní cena (Kč/kWh)"}, 0, 5, 0.01,
Appearance→"Labeled"},
{{val, 2, "Roční valorizace výkupních cen (%)"}, 0, 100, 0.5,
Appearance→"Labeled"},
```

```

{{ct, 0.65, "Smluvená tržní cena - ZB (Kč/kWh)"}, 0, 5,0.01,
Appearance→"Labeled"},
{{cZB,1.88, "Zelený bonus (Kč/kWh)"}, 0, 10,0.5,
Appearance→"Labeled"},
{{cUSP,4.0, "Cena distribuované el. energie - úspora za nákup
při ZB (Kč/kWh)"}, 0, 10,0.5, Appearance→"Labeled"},
{{TlacZB,True,"Režim Zelený bonus"},{True,False}},

```

```

Delimiter, Style["Ekonomické parametry - pojištění", Black,
FontSize→15, Bold],
{{dob, 25, "Doba pojištění v letech (rok)"}, 0, 25,1,
Appearance→"Labeled"},
{{ppoj, 2, "Procento pojištění (%)"}, 0, 100,0.5,
Appearance→"Labeled"},
{{nsu, 5600, "Roční provozní náklady - pojištění (Kč/rok)"},
0, 10000,500, Appearance→"Labeled"},

```

```

Delimiter, Style["Recyklace", Black, FontSize→15, Bold],
{{nrec, 200, "Odhad nákladů na recyklaci (Kč/kWp)"}, 0,
1000,50, Appearance→"Labeled"},

```

```

AutorunSequencing→{1,2,3,4,5,6}

```

```

Grid[{{Rok,Vyrobená energie [kWh],Tržby-výkup [Kč],Tržby-
ZB[Kč], Náklady [Kč], Odpisy [Kč], Úrok [Kč], Úmor [Kč],
Zbytkový úvěr [Kč], Nezdaněný zisk [Kč], Základ daně [Kč], Daň
z příjmu [Kč], Čistý zisk [Kč], Cash flow [Kč], Kum. Cash flow
[Kč], Diskont. Cash flow [Kč], Kum. Diskont. Cash flow [Kč],
DSCR ["%"], Rok},{1, N[Evyr[1]], N[Tvyk[1]], N[Tc[1]],
N[Nakl[1]], N[Odp[1]], N[Ur[1]], N[Um[1]], N[Uv[1]],
N[Znezd[1]], N[ZD[1]], N[DP[1]], N[Zcist[1]], N[CF[1]],
N[KCF[1]], N[DCF[1]], N[KDCF[1]], DSCR[1], 1},{2, N[Evyr[2]],
N[Tvyk[2]], N[Tc[2]], N[Nakl[2]], N[Odp[2]], N[Ur[2]],
N[Um[2]], N[Uv[2]], N[Znezd[2]], N[ZD[2]], N[DP[2]],
N[Zcist[2]], N[CF[2]], N[KCF[2]], N[DCF[2]], N[KDCF[2]],
DSCR[2], 2},{3, N[Evyr[3]], N[Tvyk[3]], N[Tc[3]], N[Nakl[3]],
N[Odp[3]], N[Ur[3]], N[Um[3]], N[Uv[3]], N[Znezd[3]], N[ZD[3]],
N[DP[3]], N[Zcist[3]], N[CF[3]], N[KCF[3]], N[DCF[3]],
N[KDCF[3]], DSCR[3], 3},{4, N[Evyr[4]], N[Tvyk[4]], N[Tc[4]],
N[Nakl[4]], N[Odp[4]], N[Ur[4]], N[Um[4]], N[Uv[4]],
N[Znezd[4]], N[ZD[4]], N[DP[4]], N[Zcist[4]], N[CF[4]],
N[KCF[4]], N[DCF[4]], N[KDCF[4]], DSCR[4], 4},{5, N[Evyr[5]],
N[Tvyk[5]], N[Tc[5]], N[Nakl[5]], N[Odp[5]], N[Ur[5]],
N[Um[5]], N[Uv[5]], N[Znezd[5]], N[ZD[5]], N[DP[5]],
N[Zcist[5]], N[CF[5]], N[KCF[5]], N[DCF[5]], N[KDCF[5]],

```

DSCR[5], 5},{6, N[Evyr[6]], N[Tvyk[6]], N[Tc[6]], N[Nakl[6]],
N[Odp[6]], N[Ur[6]], N[Um[6]], N[Uv[6]], N[Znezd[6]], N[ZD[6]],
N[DP[6]], N[Zcist[6]], N[CF[6]], N[KCF[6]], N[DCF[6]],
N[KDCF[6]], DSCR[6], 6},{7, N[Evyr[7]], N[Tvyk[7]], N[Tc[7]],
N[Nakl[7]], N[Odp[7]], N[Ur[7]], N[Um[7]], N[Uv[7]],
N[Znezd[7]], N[ZD[7]], N[DP[7]], N[Zcist[7]], N[CF[7]],
N[KCF[7]], N[DCF[7]], N[KDCF[7]], DSCR[7], 7},{8, N[Evyr[8]],
N[Tvyk[8]], N[Tc[8]], N[Nakl[8]], N[Odp[8]], N[Ur[8]],
N[Um[8]], N[Uv[8]], N[Znezd[8]], N[ZD[8]], N[DP[8]],
N[Zcist[8]], N[CF[8]], N[KCF[8]], N[DCF[8]], N[KDCF[8]],
DSCR[8], 8},{9, N[Evyr[9]], N[Tvyk[9]], N[Tc[9]], N[Nakl[9]],
N[Odp[9]], N[Ur[9]], N[Um[9]], N[Uv[9]], N[Znezd[9]], N[ZD[9]],
N[DP[9]], N[Zcist[9]], N[CF[9]], N[KCF[9]], N[DCF[9]],
N[KDCF[9]], DSCR[9], 9},{10, N[Evyr[10]], N[Tvyk[10]],
N[Tc[10]], N[Nakl[10]], N[Odp[10]], N[Ur[10]], N[Um[10]],
N[Uv[10]], N[Znezd[10]], N[ZD[10]], N[DP[10]], N[Zcist[10]],
N[CF[10]], N[KCF[10]], N[DCF[10]], N[KDCF[10]], DSCR[10],
10},{11, N[Evyr[11]], N[Tvyk[11]], N[Tc[11]], N[Nakl[11]],
N[Odp[11]], N[Ur[11]], N[Um[11]], N[Uv[11]], N[Znezd[11]],
N[ZD[11]], N[DP[11]], N[Zcist[11]], N[CF[11]], N[KCF[11]],
N[DCF[11]], N[KDCF[11]], DSCR[11], 11},{12, N[Evyr[12]],
N[Tvyk[12]], N[Tc[12]], N[Nakl[12]], N[Odp[12]], N[Ur[12]],
N[Um[12]], N[Uv[12]], N[Znezd[12]], N[ZD[12]], N[DP[12]],
N[Zcist[12]], N[CF[12]], N[KCF[12]], N[DCF[12]], N[KDCF[12]],
DSCR[12], 12},{13, N[Evyr[13]], N[Tvyk[13]], N[Tc[13]],
N[Nakl[13]], N[Odp[13]], N[Ur[13]], N[Um[13]], N[Uv[13]],
N[Znezd[13]], N[ZD[13]], N[DP[13]], N[Zcist[13]],
N[CF[13]], N[KCF[13]], N[DCF[13]], N[KDCF[13]], DSCR[13],
13},{14, N[Evyr[14]], N[Tvyk[14]], N[Tc[14]], N[Nakl[14]],
N[Odp[14]], N[Ur[14]], N[Um[14]], N[Uv[14]], N[Znezd[14]],
N[ZD[14]], N[DP[14]], N[Zcist[14]], N[CF[14]], N[KCF[14]],
N[DCF[14]], N[KDCF[14]], DSCR[14], 14},{15, N[Evyr[15]],
N[Tvyk[15]], N[Tc[15]], N[Nakl[15]], N[Odp[15]], N[Ur[15]],
N[Um[15]], N[Uv[15]], N[Znezd[15]], N[ZD[15]], N[DP[15]],
N[Zcist[15]], N[CF[15]], N[KCF[15]], N[DCF[15]], N[KDCF[15]],
DSCR[15], 15},{16, N[Evyr[16]], N[Tvyk[16]], N[Tc[16]],
N[Nakl[16]], N[Odp[16]], N[Ur[16]], N[Um[16]], N[Uv[16]],
N[Znezd[16]], N[ZD[16]], N[DP[16]], N[Zcist[16]], N[CF[16]],
N[KCF[16]], N[DCF[16]], N[KDCF[16]], DSCR[16], 16},{17,
N[Evyr[17]], N[Tvyk[17]], N[Tc[17]], N[Nakl[17]], N[Odp[17]],
N[Ur[17]], N[Um[17]], N[Uv[17]], N[Znezd[17]], N[ZD[17]],
N[DP[17]], N[Zcist[17]], N[CF[17]], N[KCF[17]], N[DCF[17]],

```

N[KDCF[17]], DSCR[17], 17},{18, N[Evyr[18]], N[Tvyk[18]],
N[Tc[18]], N[Nakl[18]], N[Odp[18]], N[Ur[18]], N[Um[18]],
N[Uv[18]], N[Znezd[18]], N[ZD[18]], N[DP[18]], N[Zcist[18]],
N[CF[18]], N[KCF[18]], N[DCF[18]], N[KDCF[18]], DSCR[18],
18},{19, N[Evyr[19]], N[Tvyk[19]], N[Tc[19]], N[Nakl[19]],
N[Odp[19]], N[Ur[19]], N[Um[19]], N[Uv[19]], N[Znezd[19]],
N[ZD[19]], N[DP[19]], N[Zcist[19]], N[CF[19]], N[KCF[19]],
N[DCF[19]], N[KDCF[19]], DSCR[19], 19},{20, N[Evyr[20]],
N[Tvyk[20]], N[Tc[20]], N[Nakl[20]], N[Odp[20]], N[Ur[20]],
N[Um[20]], N[Uv[20]], N[Znezd[20]], N[ZD[20]], N[DP[20]],
N[Zcist[20]], N[CF[20]], N[KCF[20]], N[DCF[20]], N[KDCF[20]],
DSCR[20], 20},{21, N[Evyr[21]], N[Tvyk[21]], N[Tc[21]],
N[Nakl[21]], Odp[21], N[Ur[21]], N[Um[21]], N[Uv[21]],
N[Znezd[21]], N[ZD[21]], N[DP[21]], N[Zcist[21]], N[CF[21]],
N[KCF[21]], N[DCF[21]], N[KDCF[21]], DSCR[21], 21},{22,
N[Evyr[22]], N[Tvyk[22]], N[Tc[22]], N[Nakl[22]], Odp[22],
N[Ur[22]], N[Um[22]], N[Uv[22]], N[Znezd[22]], N[ZD[22]],
N[DP[22]], N[Zcist[22]], N[CF[22]], N[KCF[22]], N[DCF[22]],
N[KDCF[22]], DSCR[22], 22},{23, N[Evyr[23]], N[Tvyk[23]],
N[Tc[23]], N[Nakl[23]], Odp[23], N[Ur[23]], N[Um[23]],
N[Uv[23]], N[Znezd[23]], N[ZD[23]], N[DP[23]], N[Zcist[23]],
N[CF[23]], N[KCF[23]], N[DCF[23]], N[KDCF[23]], DSCR[23],
23},{24, N[Evyr[24]], N[Tvyk[24]], N[Tc[24]], N[Nakl[24]],
Odp[24], N[Ur[24]], N[Um[24]], N[Uv[24]], N[Znezd[24]],
N[ZD[24]], N[DP[24]], N[Zcist[24]], N[CF[24]], N[KCF[24]],
N[DCF[24]], N[KDCF[24]], DSCR[24], 24},{25, N[Evyr[25]],
N[Tvyk[25]], N[Tc[25]], N[Nakl[25]], Odp[25], N[Ur[25]],
N[Um[25]], N[Uv[25]], N[Znezd[25]], N[ZD[25]], N[DP[25]],
N[Zcist[25]], N[CF[25]], N[KCF[25]], N[DCF[25]], N[KDCF[25]],
DSCR[25], 25}},Frame→ All]

```

Příloha B – Podrobné Cash flow variant 5 kW_p, 15.75 kW_p a 30 kW_p

Varianta 5 kW_p

Rok	Vyrobená energie [kWh]	Tržby - výkup [Kč]	Tržby - ZB [Kč]	Náklady [Kč]	Odpisy [Kč]	Úrok [Kč]	Úmor [Kč]	Zbytkový úvěr [Kč]	Nezdaněný zisk [Kč]	Základ daně [Kč]	Daň z příjmu [Kč]	Čistý zisk [Kč]	Cash flow [Kč]	Kum. Cash flow [Kč]	Diskont. Cash flow [Kč]	Kum. Diskont. Cash flow [Kč]	DSCR [%]	Rok
1	4328.8	12943.1	10562.3	5580.	10200.	0.	0.	0.	-5217.73	0.	0.	-5217.73	22297.5	-181703.	21337.3	-182663.	-	1
2	4280.7	13381.7	10706.	5617.5	10200.	0.	0.	0.	-5111.46	0.	0.	-5111.46	22639.4	-159063.	20731.6	-161931.	-	2
3	4232.6	13833.3	10850.4	5655.94	10200.	0.	0.	0.	-5005.55	0.	0.	-5005.55	22982.	-136081.	20139.	-141792.	-	3
4	4184.51	14298.4	10995.3	5695.34	10200.	0.	0.	0.	-4900.07	0.	0.	-4900.07	23325.	-112756.	19559.4	-122233.	-	4
5	4136.41	14777.2	11140.6	5735.72	10200.	0.	0.	0.	-4795.11	0.	0.	-4795.11	23668.2	-89088.	18992.5	-103240.	-	5
6	4088.31	15269.9	11286.3	5777.11	10200.	0.	0.	0.	-4690.77	0.	0.	-4690.77	24011.4	-65076.6	18438.3	-84801.9	-	6
7	4040.21	15776.8	11432.4	5819.54	10200.	0.	0.	0.	-4587.14	0.	0.	-4587.14	24354.5	-40722.1	17896.4	-66905.5	-	7
8	3992.12	16298.3	11578.7	5863.03	10200.	0.	0.	0.	-4484.32	0.	0.	-4484.32	24697.2	-16024.9	17366.7	-49538.8	-	8
9	3944.02	16834.6	11725.2	5907.6	10200.	0.	0.	0.	-4382.42	0.	0.	-4382.42	25039.2	9014.24	16849.	-32689.8	-	9
10	3895.92	17385.9	11871.7	5953.29	13018.2	0.	0.	0.	-7099.73	0.	0.	-7099.73	-5619.67	3394.58	-3618.66	-36308.5	-	10
11	3715.55	17335.4	11605.2	6000.13	13018.2	0.	0.	0.	-7413.13	0.	0.	-7413.13	24629.9	28024.5	15176.9	-21131.6	-	11
12	3697.52	18036.2	11837.6	6048.13	13018.2	0.	0.	0.	-7228.74	0.	0.	-7228.74	25195.3	53219.8	14856.8	-6274.81	-	12
13	3679.48	18764.9	12074.3	6097.33	13018.2	0.	0.	0.	-7041.2	0.	0.	-7041.2	25771.	78990.8	14541.8	8267.01	-	13
14	3661.44	19522.5	12315.5	6147.77	13018.2	0.	0.	0.	-6850.44	0.	0.	-6850.44	26357.1	105348.	14232.1	22499.1	-	14
15	3643.41	20310.3	12561.2	6199.46	13018.2	0.	0.	0.	-6656.43	0.	0.	-6656.43	26953.9	132302.	13927.6	36426.8	-	15
16	3625.37	21129.3	12811.5	6252.45	13018.2	0.	0.	0.	-6459.12	0.	0.	-6459.12	27561.5	159863.	13628.3	50055.1	-	16
17	3607.33	21980.7	13066.5	6306.76	13018.2	0.	0.	0.	-6258.48	0.	0.	-6258.48	28180.1	188043.	13334.2	63389.3	-	17
18	3589.3	22865.9	13326.2	6362.43	13018.2	0.	0.	0.	-6054.45	0.	0.	-6054.45	28809.9	216853.	13045.1	76434.4	-	18
19	3571.26	23786.2	13590.7	6419.49	13018.2	0.	0.	0.	-5847.	0.	0.	-5847.	29451.	246304.	12761.2	89195.5	-	19
20	3553.22	24742.9	13860.1	6477.98	13018.2	0.	0.	0.	-5636.08	0.	0.	-5636.08	30103.6	276408.	12482.2	101678.	-	20
21	3535.19	25737.4	14134.5	6537.92	0	0.	0.	0.	7596.54	7596.54	1139.48	6457.06	29628.3	306036.	11756.1	113434.	-	21
22	3517.15	26771.1	14413.9	6599.37	0	0.	0.	0.	7814.54	7814.54	1172.18	6642.36	30271.7	336308.	11494.2	124928.	-	22
23	3499.11	27845.7	14698.5	6662.36	0	0.	0.	0.	8036.14	8036.14	1205.42	6830.72	30926.6	367234.	11237.2	136165.	-	23
24	3481.08	28962.6	14988.3	6726.92	0	0.	0.	0.	8261.38	8261.38	1239.21	7022.17	31593.2	398828.	10985.	147150.	-	24
25	3463.04	30123.5	15283.4	7793.09	0	0.	0.	0.	7490.32	7490.32	1123.55	6366.77	31421.5	430249.	10454.9	157605.	-	25


Varianta 15.75 kW_p


Rok	Vyrobená energie [kWh]	Tržby - výkup [Kč]	Tržby - ZB [Kč]	Náklady [Kč]	Odpisy [Kč]	Úrok [Kč]	Úmor [Kč]	Zbytkový úvěr [Kč]	Nezdaněný zisk [Kč]	Základ daně [Kč]	Daň z příjmu [Kč]	Čistý zisk [Kč]	Cash flow [Kč]	Kum. Cash flow [Kč]	Diskont. Cash flow [Kč]	Kum. Diskont. Cash flow [Kč]	DSCR [%]	Rok
1	13 679.	33 240.	29 273.1	15 660.	25 150.	0.	0.	0.	-11 536.9	0.	0.	-11 536.9	46 442.7	-456 557.	44 021.5	-458 978.	-	1
2	13 527.	34 366.3	29 671.5	15 800.	25 150.	0.	0.	0.	-11 278.5	0.	0.	-11 278.5	47 148.	-409 409.	42 360.2	-416 618.	-	2
3	13 375.	35 526.2	30 071.6	15 943.5	25 150.	0.	0.	0.	-11 021.9	0.	0.	-11 021.9	47 853.2	-361 556.	40 752.5	-375 866.	-	3
4	13 223.	36 720.6	30 473.1	16 090.6	25 150.	0.	0.	0.	-10 767.5	0.	0.	-10 767.5	48 558.	-312 998.	39 196.8	-336 669.	-	4
5	13 071.1	37 950.1	30 875.9	16 241.4	25 150.	0.	0.	0.	-10 515.4	0.	0.	-10 515.4	49 261.7	-263 736.	37 691.9	-298 977.	-	5
6	12 919.1	39 215.5	31 279.8	16 395.9	25 150.	0.	0.	0.	-10 266.1	0.	0.	-10 266.1	49 964.1	-213 772.	36 236.2	-262 741.	-	6
7	12 767.1	40 517.4	31 684.6	16 554.3	25 150.	0.	0.	0.	-10 019.7	0.	0.	-10 019.7	50 664.5	-163 108.	34 828.6	-227 912.	-	7
8	12 615.1	41 856.7	32 090.1	16 716.6	25 150.	0.	0.	0.	-9 776.54	0.	0.	-9 776.54	51 362.3	-111 745.	33 467.6	-194 445.	-	8
9	12 463.1	43 233.9	32 496.1	16 883.1	25 150.	0.	0.	0.	-9 537.	0.	0.	-9 537.	52 057.2	-59 688.3	32 152.	-162 293.	-	9
10	12 311.1	44 649.8	32 902.3	17 053.6	30 604.5	0.	0.	0.	-14 755.9	0.	0.	-14 755.9	-7251.65	-66 940.	-4245.34	-166 538.	-	10
11	11 741.1	44 520.2	32 163.5	17 228.5	30 604.5	0.	0.	0.	-15 669.5	0.	0.	-15 669.5	51 006.2	-15 933.8	28 303.9	-138 234.	-	11
12	11 684.2	46 319.9	32 807.5	17 407.7	30 604.5	0.	0.	0.	-15 204.7	0.	0.	-15 204.7	52 193.3	36 259.6	27 452.7	-110 781.	-	12
13	11 627.2	48 191.3	33 463.7	17 591.4	30 604.5	0.	0.	0.	-14 732.2	0.	0.	-14 732.2	53 401.7	89 661.2	26 624.	-84 157.4	-	13
14	11 570.2	50 137.	34 132.1	17 779.7	30 604.5	0.	0.	0.	-14 252.1	0.	0.	-14 252.1	54 631.5	144 293.	25 817.2	-58 340.2	-	14
15	11 513.2	52 160.	34 813.1	17 972.7	30 604.5	0.	0.	0.	-13 764.1	0.	0.	-13 764.1	55 883.2	200 176.	25 031.9	-33 308.3	-	15
16	11 456.2	54 263.3	35 506.8	18 170.5	30 604.5	0.	0.	0.	-13 268.2	0.	0.	-13 268.2	57 157.	257 333.	24 267.8	-9040.52	-	16
17	11 399.2	56 450.	36 213.4	18 373.2	30 604.5	0.	0.	0.	-12 764.4	0.	0.	-12 764.4	58 453.3	315 786.	23 524.3	14 483.8	-	17
18	11 342.2	58 723.4	36 933.1	18 581.1	30 604.5	0.	0.	0.	-12 252.5	0.	0.	-12 252.5	59 772.4	375 558.	22 801.1	37 284.9	-	18
19	11 285.2	61 086.8	37 666.2	18 794.1	30 604.5	0.	0.	0.	-11 732.4	0.	0.	-11 732.4	61 114.6	436 673.	22 097.8	59 382.7	-	19
20	11 228.2	63 543.7	38 412.9	19 012.4	30 604.5	0.	0.	0.	-11 204.1	0.	0.	-11 204.1	62 480.3	499 153.	21 413.8	80 796.5	-	20
21	11 171.2	66 097.7	39 173.3	19 236.3	0	0.	0.	0.	19 937.1	19 937.1	2990.56	16 946.5	60 879.2	560 033.	19 777.3	100 574.	-	21
22	11 114.2	68 752.6	39 947.8	19 465.7	0	0.	0.	0.	20 482.1	20 482.1	3072.32	17 409.8	62 211.1	622 244.	19 156.4	119 730.	-	22
23	11 057.2	71 512.2	40 736.5	19 700.8	0	0.	0.	0.	21 035.7	21 035.7	3155.36	17 880.4	63 566.2	685 810.	18 553.2	138 283.	-	23
24	11 000.2	74 380.6	41 539.7	19 941.8	0	0.	0.	0.	21 597.9	21 597.9	3239.68	18 358.2	64 944.8	750 755.	17 967.4	156 251.	-	24
25	10 943.2	77 362.	42 357.6	20 188.9	0	0.	0.	0.	19 008.7	19 008.7	2851.31	16 157.4	63 661.2	814 416.	16 694.1	172 945.	-	25

Varianta 30 kW_p

Rok	Vyrobená energie [kWh]	Tržby - výkup [Kč]	Tržby - ZB [Kč]	Náklady [Kč]	Odpisy [Kč]	Úrok [Kč]	Úmor [Kč]	Zbytkový úvěr [Kč]	Nezdaněný zisk [Kč]	Základ daně [Kč]	Daň z příjmu [Kč]	Čistý zisk [Kč]	Cash flow [Kč]	Kum. Cash flow [Kč]	Diskont. Cash flow [Kč]	Kum. Diskont. Cash flow [Kč]	DSCR [%]	Rok
1	25972.8	63113.9	59802.4	25500.	39750.	0.	0.	0.	-5447.63	0.	0.	-5447.63	70664.3	-724336.	66351.4	-728649.	-	1
2	25684.2	65252.4	60616.3	25740.	39750.	0.	0.	0.	-4873.65	0.	0.	-4873.65	71733.2	-652603.	63244.2	-665404.	-	2
3	25395.6	67454.9	61433.6	25986.	39750.	0.	0.	0.	-4302.35	0.	0.	-4302.35	72801.4	-579801.	60268.6	-605136.	-	3
4	25107.	69722.7	62253.9	26238.1	39750.	0.	0.	0.	-3734.22	0.	0.	-3734.22	73868.3	-505933.	57419.6	-547716.	-	4
5	24818.5	72057.2	63076.8	26496.6	39750.	0.	0.	0.	-3169.78	0.	0.	-3169.78	74933.1	-431000.	54692.2	-493024.	-	5
6	24529.9	74459.8	63902.	26761.5	39750.	0.	0.	0.	-2609.56	0.	0.	-2609.56	75995.	-355005.	52082.	-440942.	-	6
7	24241.3	76931.8	64728.9	27033.1	39750.	0.	0.	0.	-2054.13	0.	0.	-2054.13	77053.3	-277951.	49584.3	-391358.	-	7
8	23952.7	79474.7	65557.3	27311.4	39750.	0.	0.	0.	-1504.08	0.	0.	-1504.08	78107.	-199844.	47194.7	-344163.	-	8
9	23664.1	82089.7	66386.6	27596.7	39750.	0.	0.	0.	-960.03	0.	0.	-960.03	79155.4	-120689.	44909.	-299254.	-	9
10	23375.5	84778.1	67216.5	27889.1	49840.9	0.	0.	0.	-10513.5	0.	0.	-10513.5	-30802.7	-151492.	-16409.4	-315663.	-	10
11	22293.3	84532.	65707.2	28188.8	49840.9	0.	0.	0.	-12322.5	0.	0.	-12322.5	77470.7	-74020.9	38751.8	-276911.	-	11
12	22185.1	87949.2	67023.	28496.	49840.9	0.	0.	0.	-11314.	0.	0.	-11314.	79279.2	5258.31	37236.1	-239675.	-	12
13	22076.9	91502.4	68363.4	28810.9	49840.9	0.	0.	0.	-10288.4	0.	0.	-10288.4	81119.8	86378.1	35775.2	-203900.	-	13
14	21968.7	95196.8	69729.	29133.7	49840.9	0.	0.	0.	-9245.61	0.	0.	-9245.61	82993.	169371.	34367.4	-169533.	-	14
15	21860.4	99038.	71120.1	29464.5	49840.9	0.	0.	0.	-8185.31	0.	0.	-8185.31	84899.1	254270.	33011.	-136522.	-	15
16	21752.2	103032.	72537.3	29803.7	49840.9	0.	0.	0.	-7107.3	0.	0.	-7107.3	86838.8	341109.	31704.4	-104817.	-	16
17	21644.	107184.	73980.8	30151.3	49840.9	0.	0.	0.	-6011.37	0.	0.	-6011.37	88812.4	429921.	30446.	-74371.3	-	17
18	21535.8	111500.	75451.2	30507.5	49840.9	0.	0.	0.	-4897.28	0.	0.	-4897.28	90820.6	520742.	29234.2	-45137.1	-	18
19	21427.6	115988.	76948.8	30872.7	49840.9	0.	0.	0.	-3764.82	0.	0.	-3764.82	92863.6	613606.	28067.5	-17069.7	-	19
20	21319.3	120653.	78474.2	31247.	49840.9	0.	0.	0.	-2613.76	0.	0.	-2613.76	94942.2	708548.	26944.3	9874.65	-	20
21	21211.1	125502.	80027.7	31630.7	0	0.	0.	0.	48397.	48397.	7259.55	41137.5	89797.1	798345.	23928.8	33803.4	-	21
22	21102.9	130543.	81609.9	32024.	0	0.	0.	0.	49585.9	49585.9	7437.89	42148.	91769.7	890115.	22961.9	56765.3	-	22
23	20994.7	135783.	83221.2	32427.1	0	0.	0.	0.	50794.1	50794.1	7619.12	43175.	93776.4	983891.	22031.9	78797.3	-	23
24	20886.5	141229.	84862.	32840.3	0	0.	0.	0.	52021.8	52021.8	7803.26	44218.5	95817.6	1.07971×10 ⁶	21137.5	99934.8	-	24
25	20778.2	146890.	86532.9	39263.8	0	0.	0.	0.	47269.1	47269.1	7090.37	40178.7	92793.7	1.1725×10 ⁶	19221.1	119156.	-	25

Příloha C – Ceníky elektráren a technické parametry FV panelů

Dodavatel: SOLLARIS s.r.o. Hvězdova 1716/2b 140 00 Praha 4						
IČ: DIČ: Telefon: E-Mail:	27344207 CZ27344207 773 490 549 r.sojka@sollaris.cz	<u>Fotovoltaický systém</u> <u>o výkonu 5 kWp</u>				
Položkový rozpočet	MJ	Počet MJ	Cena MJ	%DPH	DPH MJ	Celkem
Fotovoltaická elektrárna 5 kWp, 3f zapojení, Canadian						
Fotovoltaický panel Canadian Solar CS6P 250 watt		20,000	4 700,00			94 000,00
Měnič Kostal Piko 5.5		1,000	31 000,00			31 000,00
Jističe, přepětové ochrany, relé, AC, DC ochrana		1,000	14 000,00			14 000,00
Solární, silový kabel, dráty, lišty, husí krk		160,000	30,00			4 800,00
Konstrukce hliníková - Schletter		20,000	900,00			18 000,00
Instalace systému		1,000	33 885,00			33 885,00
Administrace, projekt, revize		1,000	5 000,00			5 000,00
Doprava systému a techniků		1,000	3 000,00			3 000,00
Rozpis DPH:			Základ	DPH	Celkem	
V sazbě základní:			0,00	0,00	0,00	
V sazbě snížené:			0,00	0,00	0,00	
Bez DPH:			203 685,00		0,00	
Celková cena bez DPH (Kč)						203 685,00

Dodavatel: SOLLARIS s.r.o. Hvězdova 1716/2b 140 00 Praha 4						
IČ: DIČ: Telefon: E-Mail:	27344207 CZ27344207 773 490 549 r.sojka@sollaris.cz	<u>Fotovoltaický systém</u> <u>o výkonu 15,75 kWp</u>				
Položkový rozpočet	MJ	Počet MJ	Cena MJ	%DPH	DPH MJ	Celkem
Fotovoltaická elektrárna 15,75 kWp, 3f zapojení, Canadian						
Fotovoltaický panel Canadian Solar CS6P 250 watt		63,000	4 550,00			286 650,00
Měnič Solarmax 15 MT		1,000	59 500,00			59 500,00
Jističe, přepětové ochrany, relé, AC, DC ochrana		1,000	14 000,00			14 000,00
Solární, silový kabel, dráty, lišty, husí krk		240,000	30,00			7 200,00
Konstrukce hliníková - Schletter		63,000	900,00			56 700,00
Instalace systému		1,000	70 875,00			70 875,00
Administrace, projekt, revize		1,000	5 000,00			5 000,00
Doprava systému a techniků		1,000	3 000,00			3 000,00
Rozpis DPH:			Základ	DPH	Celkem	
V sazbě základní:			0,00	0,00	0,00	
V sazbě snížené:			0,00	0,00	0,00	
Bez DPH:			502 925,00		0,00	
Celková cena bez DPH (Kč)						502 925,00

Dodavatel:
 SOLLARIS s.r.o.
 Hvězdova 1716/2b
 140 00 Praha 4



IČ: 27344207
DIČ: CZ27344207
Telefon: 773 490 549
E-Mail: r.sojka@sollaris.cz

Fotovoltaický systém
o výkonu 26,25 kWp

Položkový rozpočet	MJ	Počet MJ	Cena MJ	%DPH	DPH MJ	Celkem
Fotovoltaická elektrárna 26,25 kWp, 3f zapojení, Canadian						
Fotovoltaický panel Canadian Solar CS6P 250 watt		105,000	4 300,00			451 500,00
Měnič Solarmax 13 MT		2,000	55 500,00			111 000,00
Jističe, přepětové ochrany, relé, AC, DC ochrana		2,000	14 000,00			28 000,00
Solární, silový kabel, dráty, lišty, husí krk		480,000	30,00			14 400,00
Konstrukce hliníková - Schletter		105,000	900,00			94 500,00
Instalace systému		1,000	86 625,00			86 625,00
Administrace, projekt, revize		1,000	5 000,00			5 000,00
Doprava systému a techniků		1,000	3 000,00			3 000,00

Rozpis DPH:	Základ	DPH	Celkem
V sazbě základní:	0,00	0,00	0,00
V sazbě snížené:	0,00	0,00	0,00
Bez DPH:	794 025,00		0,00
Celková cena bez DPH (Kč)			794 025,00

CS6P-230/235/240/245/250P

Elektrische Daten

STC	CS6P-230P	CS6P-235P	CS6P-240P	CS6P-245P	CS6P-250P
Maximale Nennleistung unter STC (Pmax)	230W	235W	240W	245W	250W
Optimale Betriebsspannung (Vmp)	29,6V	29,8V	29,9V	30,0V	30,1V
Optimaler Betriebsstrom (Imp)	7,78A	7,90A	8,03A	8,17A	8,30A
Leerlaufspannung (Voc)	36,8V	36,9V	37,0V	37,1V	37,2V
Kurzschlussstrom (Isc)	8,34A	8,46A	8,59A	8,74A	8,87A
Moduleffizienz	14,30%	14,61%	14,92%	15,23%	15,54%
Betriebstemperatur	-40°C~+85°C				
Maximale Systemspannung	1000V (IEC) /600V (UL)				
Maximaler Bemessungsstrom	15A				
Anwendungs-kategorie	Klasse A				
Leistungstoleranz	0 ~ +5W				

Standard-Testbedingungen (STC): 1000 W/m² Einstrahlung, AM 1,5 und 25 °C Zelltemperatur

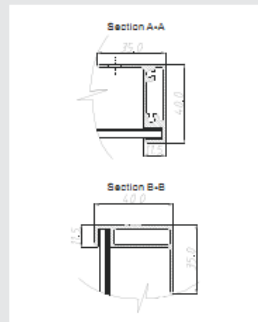
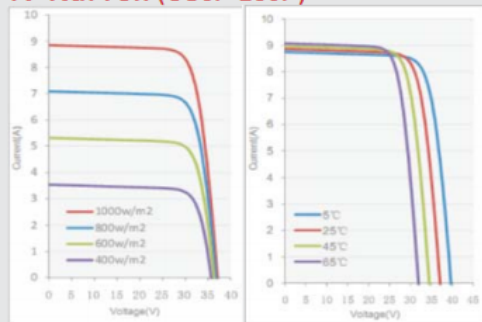
NOCT	CS6P-230P	CS6P-235P	CS6P-240P	CS6P-245P	CS6P-250P
Maximale Nennleistung unter STC (Pmax)	167W	170W	174W	178W	181W
Optimale Betriebsspannung (Vmp)	27,0V	27,2V	27,3V	27,4V	27,5V
Optimaler Betriebsstrom (Imp)	6,18A	6,27A	6,38A	6,49A	6,60A
Leerlaufspannung (Voc)	33,8V	33,9V	34,0V	34,1V	34,2V
Kurzschlussstrom (Isc)	6,76A	6,86A	6,96A	7,08A	7,19A

Unter Normal-Betriebstemperatur, Strahlungsintensität von 800 W/m², Luftmasse AM 1,5, Umgebungstemperatur 20°C, Windgeschwindigkeit 1 m/s

Mechanische Daten

Zellentyp	Polykristallin 156 x 156 mm, 2 oder 3 Busbars
Zellenanordnung	60 (6x10)
Abmessungen	1638 x 982 x 40 mm (64,5 x 38,7 x 1,57 in)
Gewicht	20 kg (44,1 lbs)
Frontabdeckung	3,2 mm gehärtetes Glas
Rahmenmaterial	eloxierte Aluminiumlegierung
J-Box	IP65, 3 Dioden
Kabel	4 mm ² (IEC)/12AWG (UL), 1100 mm
Stecker	MC4 oder MC4-vergleichbar
Standardverpackung (Module pro Palette)	24 Stück
Modulanzahl pro Container (40ft Container)	672 Stück (40ft HQ)

IV-Kurven (CS6P-250P)



Temperatüreigenschaften

Temperaturkoeffizient	Pmax	-0,43%/°C
	Voc	-0,34%/°C
	Isc	0,065%/°C
Normal-Betriebstemperatur		45±2°C

Leistung bei niedriger Strahlungsintensität

Branchenführende Leistung bei niedriger Strahlungsumgebung, +95,5% Moduleffizienz bei einer Strahlungsintensität von 1000 w/m² zu 200 w/m² (AM 1,5, 25°C)

Technische Zeichnungen

