



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

STŘEŠNÍ FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM A JEHO EFEKTIVNÍ NÁVRATNOST

ROOFTOP PHOTOVOLTAIC SYSTEM AND ITS RETURN OF INVESTMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MICHAL BURIÁN

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ PĚCHA

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Michal Burián

ID: 134464

Ročník: 3

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Střešní fotovoltaický systém a jeho efektivní návratnost

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznámení se současným stavem.
2. Návrh systému pro konkrétní střechu, kalkulace nákladů.
3. Výpočet vyrobené energie.
4. Stanovení zisků z prodeje v závislosti na daňové a výkupní legislativě.
5. Zhodnocení výsledků a další návrhy.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 31.5.2013

Vedoucí práce: Ing. Jiří Pěcha

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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:

BURIÁN, Michal. *Strešní fotovoltaický systém a jeho efektivní návratnost*. Brno, 2013. 50 s. Bakalářská práce. Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské 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.

.....

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Pěchovi a odbornému konzultantovi Ing. Jiřímu Dočkalovi za metodické vedení a věcné připomínky při zpracování práce.

V Brně dne Podpis autora

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na možnost využití střešního fotovoltaického systému jako investičního projektu. V úvodní části je popsán obecný princip fotovoltaické přeměny a možná využitelnost slunečního záření v rámci České republiky. V následující části jsou shrnuty současně dostupné technologie fotovoltaických panelů. V třetí části je uveden přehled střídačů a možných zapojení fotovoltaických systémů. V čtvrté části je proveden kompletní návrh střešního systému a kalkulace investičních nákladů pro zvolený objekt. Následující části se věnují výpočtu množství celkové vyrobené energie, stanovení zisků vyplývajících z provozu systému a celkovému ekonomickému zhodnocení investice v závislosti na investičních nákladech.

KLÍČOVÁ SLOVA: panel; fotovoltaika; článek; energie; slunce; návrh; střídač; systém

ABSTRACT

The Bachelor's Thesis is focused on a potency of using the Rooftop photovoltaic system, like the investment project. The general principle of the photovoltaic transformation and eventual utility of a sun solar radiation in Czech Republic is described in the first part of the Thesis. Furthermore there is a overview of approachable technology of the photovoltaic systems. The third part contains a review of inverters and photovoltaic systems integration. Following the complete concept of the Rooftop system and the calculation of capital expenditure for the selected property. Finally, the last part of the Thesis attend to summarize produced aggregate energy, the profit assignment due to service system. The main aim is to evaluate the Rooftop photovoltaic system and its return on the investment due to operating costs.

KEY WORDS: panel; photovoltaics; cell; energy; sun; project; inverter; system

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK.....	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	11
1 FOTOVOLTAICKÉ PŘEMĚNA A VYUŽITELNOST ZÁŘENÍ.....	14
1.1 SLUNCE JAKO ZDROJ ENERGIE	14
1.2 ZÁKLADNÍ PRINCIP FOTOVOLTAICKÉ PŘEMĚNY	15
1.3 PN PŘECHOD.....	16
1.4 VYUŽITELNOST SPEKTRA SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ.....	17
2 SOUČASNÝ STAV TECHNOLOGIE FV PANELŮ	18
2.1 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI FV ČLÁNKU	18
2.2 GENERAČNÍ ROZDĚLENÍ FV ČLÁNKŮ	18
2.2.1 PRVNÍ GENERACE	18
2.2.2 DRUHÁ GENERACE	18
2.2.3 TŘETÍ GENERACE	18
2.2.4 ČTVRTÁ GENERACE.....	19
2.3 KŘEMÍKOVÉ ČLÁNKY	19
2.3.1 MONOKRYSTALICKÉ KŘEMÍKOVÉ ČLÁNKY	19
2.3.2 POLYKRYSTALICKÉ KŘEMÍKOVÉ ČLÁNKY.....	20
2.3.3 AMORFNÍ KŘEMÍKOVÉ ČLÁNKY	20
2.4 NOVÉ TRENDY A SMĚRY VÝVOJE – NEKŘEMÍKOVÉ ČLÁNKY.....	20
2.4.1 GALIUMARSENID (ARSENID GALIŤY, GAAS)	21
2.4.2 DISELENID MĚDI A INDIA (CUINSE ₂)	21
2.4.3 TELURID KADMIA (CdTe).....	21
2.4.4 ČLÁNKY VYUŽÍVAJÍCÍ ORGANICKÉ LÁTKY	21
2.4.5 NANOSTRUKTURY	22
2.4.6 FOTOGALVANICKÉ ČLÁNKY Z VODIVÝCH POLYMERŮ	22
2.4.7 VÍCEPŘECHODOVÉ STRUKTURY (MULTIJUNCTION)	22
2.5 SROVNÁNÍ FV ČLÁNKŮ	22
2.6 KONSTRUKCE FV PANELŮ	23
3 MOŽNOSTI ZAPOJENÍ FV PANELŮ A STŘÍDAČŮ.....	25
3.1 STŘÍDAČE.....	25
3.1.1 OSTROVNÍ STŘÍDAČE	25
3.1.2 SÍŤOVÉ STŘÍDAČE.....	25
3.2 ROZDĚLENÍ FV SYSTÉMŮ PODLE ZAPOJENÍ	26
3.2.1 AUTONOMNÍ SYSTÉMY (GRID-OFF).....	26
3.2.2 HYBRIDNÍ SYSTÉMY S AKUMULACÍ.....	27
3.2.3 SYSTÉMY PŘÍMO PŘIPOJENÉ K ELEKTRICKÉ SÍTI (GRID-ON).....	28
3.3 VYUŽITÍ VÝKUPNÍ CENY A ZELENÉHO BONUSU	28
3.3.1 ZELENÝ BONUS A VLASTNÍ SPOTŘEBA	28

3.3.2 VÝKUPNÍ CENA	29
4 NÁVRH STŘEŠNÍHO FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU	30
4.1 VÝBĚR A POPIS LOKALITY	30
4.2 NÁVRH SYSTÉMU.....	30
4.2.1 PANELE A STRÍDAČ	30
4.2.2 ZÁKLADNÍ PARAMETRY POTŘEBNÉ K VÝPOČTU	32
4.2.3 KONSTRUKCE.....	32
4.2.4 ELEKTRICKÉ SCHÉMA.....	32
4.2.5 OCHRANY	33
4.2.6 DIMENZOVÁNÍ VEDENÍ A VÝPOČET ZTRÁT SYSTÉMU.....	33
4.3 PŘIHLAŠOVACÍ ŘÍZENÍ.....	34
4.4 KALKULACE NÁKLADŮ	35
5 VÝPOČET VYROBENÉ ENERGIE	37
6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ INVESTICE	39
6.1 STÁTEM GARANTOVANÁ PODPORA.....	39
6.2 VLASTNÍ SPOTŘEBA	40
6.3 VÝKUP PŘEBYTKŮ.....	41
6.4 NÁKLADY NA PROVOZ, DANĚ, ZDRAVOTNÍ A SOCIÁLNÍ POJIŠTĚNÍ.....	41
6.5 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ POMOCÍ ČISTÉ SOUČASNÉ HODNOTY A PROSTÉ NÁVRATNOSTI....	42
7 ZÁVĚR.....	47
POUŽITÁ LITERATURA	49

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1-1 Sluneční mapa ČR [7]</i>	15
<i>Obr. 1-2 Schematické znázornění polovodiče [5]</i>	16
<i>Obr. 1-3 Část spektra slunečního záření využitelná křemíkovým fotovoltaickým článkem [2]</i>	17
<i>Obr. 2-1 Křemíkové ingoty [8]</i>	20
<i>Obr. 2-2 Struktura FV modulu z křemíku [2]</i>	24
<i>Obr. 3-1 Příklady zapojení střídačů [2]</i>	26
<i>Obr. 3-2 Blokové schéma systému Grid-off [2]</i>	27
<i>Obr. 3-3 Blokové schéma hybridního systému [2]</i>	27
<i>Obr. 3-4 Zapojení systému pro vlastní spotřebu [2]</i>	28
<i>Obr. 3-5 Zapojení systému pro dodávku do sítě [2]</i>	29
<i>Obr. 5-1 Rozložení výroby energie v průběhu roku</i>	38

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 2-1 Účinnosti jednotlivých typů fotovoltaických článků [2]</i>	23
<i>Tab. 4-1 Minimální a maximální napětí stringů</i>	31
<i>Tab. 4-2 Kalkulace investičních nákladů</i>	36
<i>Tab. 5-1 Parametry výpočtu</i>	37
<i>Tab. 5-2 Vyrobená energie</i>	38
<i>Tab. 6-1 Výkupní ceny a zelené bonusy pro výrobu elektřiny ze slunečního záření [21]</i>	39
<i>Tab. 6-2 Vlastní spotřeba energie</i>	40
<i>Tab. 6-3 Výpočet návratnosti pro připojovací období od 1. 1. 2013 do 30. 6. 2013 – 1 část</i>	44
<i>Tab. 6-4 Výpočet návratnosti pro připojovací období od 1. 1. 2013 do 30. 6. 2013 – 2 část</i>	45
<i>Tab. 6-5 Výpočet návratnosti pro připojovací období od 1. 7. 2013 do 31. 12. 2013 – 1 část</i>	45
<i>Tab. 6-6 Výpočet návratnosti pro připojovací období od 1. 7. 2013 do 31. 12. 2013 – 2 část</i>	46

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

AC	střídavý
C _{ZB}	dotace za zelený bonus
C _{přebytky}	výkupní cena přebytků
ČSH	čistá současná hodnota
DC	stejnoseměrný
DS	distribuční soustava
Daň _{15%}	daň z příjmu
EVA	etylvinylacetátová folie
E _{d1}	průměrná denní výroba energie ze stringu 1
E _{d2}	průměrná denní výroba energie ze stringu 2
E _{m1}	průměrná měsíční výroba energie ze stringu 1
E _{m2}	průměrná měsíční výroba energie ze stringu 2
E _{mc}	průměrná měsíční výroba energie z obou stringů
E _{spotřeba}	průměrná měsíční spotřeba vyrobené energie
E _{celková}	celková vyrobená energie
E _{celková1}	celková vyrobená energie v prvním roce
FV	fotovoltaický
FVE	fotovoltaická elektrárna
Grid-off	autonomní systém
Grid-on	systém spojený přímo se sítí, bez akumulace
HDO	hromadné dálkové ovládání
HDS	hlavní domovní skříň
I _{MPP1max}	maximální vstupní proud MPP1
I _{MPP2max}	maximální vstupní proud MPP2
I _{DC}	maximální proud panelu
I _{ACmax}	maximální výstupní proud střídače
I _{nj}	jmenovitý proud jističe
I _{ns}	jmenovitý proud stykače
I _{np}	jmenovitý proud pojistky
INV	investiční náklady
j	aktuální rok

$K_{\text{degradace}}$	koeficient degradace
$K_{\text{spotřeba}}$	koeficient vlastní spotřeby
l	délka vedení
MPP	bod maximálního výkonu
N	typ polovodiče s nadbytečnými elektrony
n_c	celkový počet panelů
n_p	počet panelů
n_{MPP1}	počet panelů stringu 1
n_{MPP2}	počet panelů stringu 2
OZE	obnovitelný zdroj energie
P	typ polovodiče s nadbytečnými dírami
P_{DC}	instalovaný špičkový fotovoltaický výkon
P_{max}	maximální výkon panelu
P_{MPP1}	výkon stringu 1
P_{MPP2}	výkon stringu 2
PNI_{var1}	prostná návratnost investice pro variantu 1
PNI_{var2}	prostná návratnost investice pro variantu 2
PN	PN přechod
P_{ZB}	příjmy za zelený bonus
$P_{\text{přebytky}}$	příjmy za prodej přebytků
$P_{\text{úspora}}$	příjmy vzniklé úsporou využitím vyrobené energie
R_{DC}	činný odpor stejnosměrného vedení
R_{AC}	činný odpor střídavého vedení
r	roční úroková míra
SP	sociální pojištění
UV	ultrafialové záření
U_{MPPmin}	minimální MPP napětí
U_{MPPmax}	maximální MPP napětí
U_{DCmax}	maximální vstupní napětí střídače
$U_{\text{max-20}}$	napětí stringu naprázdno při $-20\text{ }^\circ\text{C}$
$U_{\text{mp-20}}$	napětí stringu při maximálním výkonu a $-20\text{ }^\circ\text{C}$
$U_{\text{mp+70}}$	napětí stringu při maximálním výkonu a $+70\text{ }^\circ\text{C}$
U_{mp}	provozní napětí stringu při jmenovitém výkonu
U_{CPV}	maximální trvalé pracovní napětí svodiče

U_{np}	jmenovité napětí pojistky
W_p	wattpeak
ZP	zdravotní pojištění
$Zisk_{průměrný1}$	průměrný zisk bez vlivu současné hodnoty pro variantu 1
$Zisk_{průměrný2}$	průměrný zisk bez vlivu současné hodnoty pro variantu 2
$Zisk_{SH}$	zisk současné hodnoty
$\Delta P_{MPP1\%}$	procentní ztráty na stringu 1
$\Delta P_{MPP2\%}$	procentní ztráty na stringu 2
$\Delta P_{DC\%}$	ztráty na stejnosměrném vedení
$\Delta P_{AC\%}$	ztráty na střídavém vedení
$\Delta P_{vedení\%}$	celkové ztráty ve vedení
$\Delta P_{ostatní\%}$	ostatní ztráty
$\Delta P_{celkové\%}$	celkové ztráty systému
$\Delta P_{EU\%}$	ztráty v měniči

1 FOTOVOLTAICKÉ PŘEMĚNA A VYUŽITELNOST ZÁŘENÍ

Elektrická energie se za poslední století stala jednou ze základních potřeb lidské civilizace. Přestože si to možná neuvědomujeme, tak jsme na elektrické energii zcela závislí. Je každodenní součástí našich životů, ať už cestujeme prostředky hromadné dopravy, využíváme nejružnější elektrická a elektronická zařízení, usnadňujeme si namáhavou práci nebo jsme jen spotřebitelem výrobků některého z mnoha průmyslových odvětví.

Převážná většina energií a tedy i elektrická energie se v dnešní době vyrábí z fosilních paliv. Skutečnost, že zásoby fosilních paliv jsou konečné, vede v současné době k hledání jiných primárních zdrojů energie a to především takových, které jsou nevyčerpatelné (obnovitelné). Zásadním vliv na rozvoj obnovitelných zdrojů má také snaha o snižování emisí a dopadů vlivu lidstva na životní prostředí.

Většina obnovitelných zdrojů energie je úzce spjata se slunečním zářením. Obnovitelný zdroj s největším potenciálem co do množství teoreticky využitelné energie je nepochybně fotovoltaika. Jedná se o přímou přeměnu slunečního záření na elektrickou energii. Velkou výhodou tohoto odvětví je fakt, že sluneční energie je relativně nevyčerpatelný a čistý zdroj. Jsou tu ovšem také velké nevýhody, které rozvoji FV technologií moc nenapomáhají. Především je to skutečnost, že na danou lokalitu nedopadá sluneční záření po celý den (denní a noční cyklus), s čímž je spojena neschopnost skladovat velké množství elektrické energie. Další velkou nevýhodou je cena FV energie, která stále převyšuje cenu energií z konvenčních zdrojů.[2], [3], [4]

1.1 Slunce jako zdroj energie

Slunce je hvězda, která se nachází nejbliže k Zemi. Teplota slunečního povrchu je přibližně 5900 K. Primárním zdrojem energie této hvězdy je jaderná fúze, tj. spojování jader vodíku za vzniku helia a následně dalších těžkých prvků. Hmotnost helia je o něco málo menší než hmotnost vodíku. Rozdíl těchto hmotností se projeví jako uvolněná energie. Každou sekundu slunce uvolní $3,8 \cdot 10^{26}$ J energie. Tato energie se prostřednictvím elektromagnetického záření vyzařuje do nejbližšího okolí hvězdy. Na zemský povrch toto záření cestuje přibližně 8 minut.

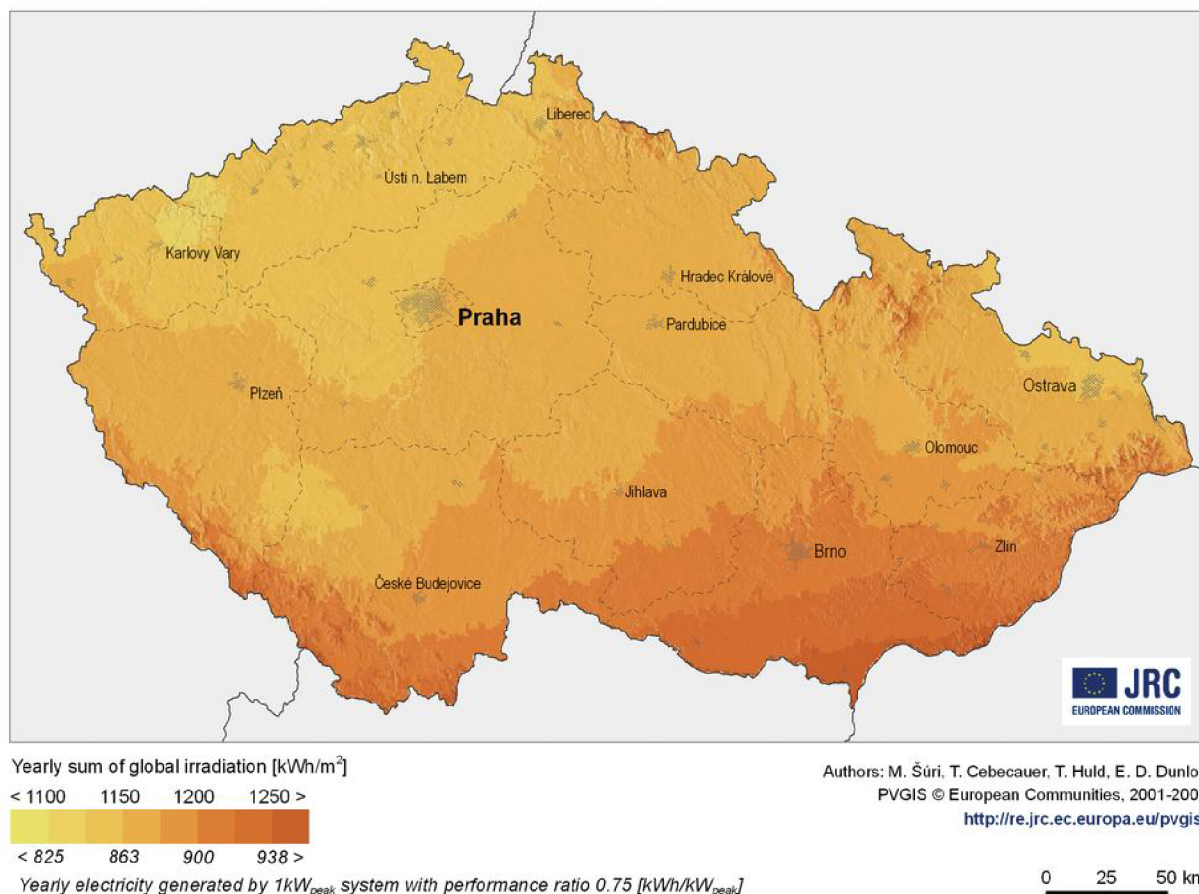
Sluneční záření patří mezi nejdostupnější zdroje energie na zemi. Jeho spektrální rozsah je 30 až 3000 nm, ale vlnové délky menší než 300 nm jsou silně pohlcovány v atmosféře, tak zemského povrchu ani nedosáhnou. Maximální energetické využití se pohybuje okolo 500 nm.

Velmi důležitým parametrem je solární konstanta. Konstanta je určena výkonem slunečního záření dopadajícího svisle na atmosférický obal Země, průměrně hodnota je 1367 W/m^2 . Při průchodu záření přes zemskou atmosféru se sluneční výkon zmenšuje. Je to způsobeno především odražením, pohlcováním nebo rozptylováním záření od molekul vzduchu, vodních kapek a aerosolů. Při ideálním počasí, kolem poledne dopadá na povrch země intenzita záření o špičkových hodnotách 1000 W/m^2 .

Sluneční záření dopadající na zemský povrch, nebo také globální záření je složeno ze dvou složek. Rozlišujeme difuzní záření a přímé záření. Přímé záření přichází přímo od slunce a není vychýleno, převládá především za jasných dnů, zatímco difuzní záření převládá při zataženě

obloze, kdy je přímé záření filtrováno a vychylováno v mracích, mlze, oparu nebo ozonové a prachové vrstvě. Intenzita a složení záření nejsou ovlivňovány jen počasím, ale také roční dobou, denní dobou a zeměpisnou šířkou. FV zařízení využívají obou složek slunečního záření.

Dalším důležitým parametrem je celkové (roční) ozáření sluncem. Je to součet přímého a difuzního záření všech slunečných hodin v roce. Pro Českou republiku je to přibližně od 950 do 1110 kWh/m². Hodnoty ozáření jsou v jednotlivých regionech rozdílné. Pro ilustraci můžeme na následujícím obrázku (Obr. 1-1) vidět, že nevhodnějšími lokalitami pro stavbu FVE jsou jižní Čechy a jižní Morava.[2], [5], [6]



Obr. 1-1 Sluneční mapa ČR [7]

1.2 Základní princip fotovoltaické přeměny

FV články pracují na principu fotoelektrického jevu, při němž jsou elektrony uvolňovány z látky v důsledku absorpce elektromagnetického záření látkou. Abychom přeměnili energii proudu fotonů (dopadající záření) na energii pohybujících se elektronů (elektrický proud), potřebujeme jen dvě základní věci:

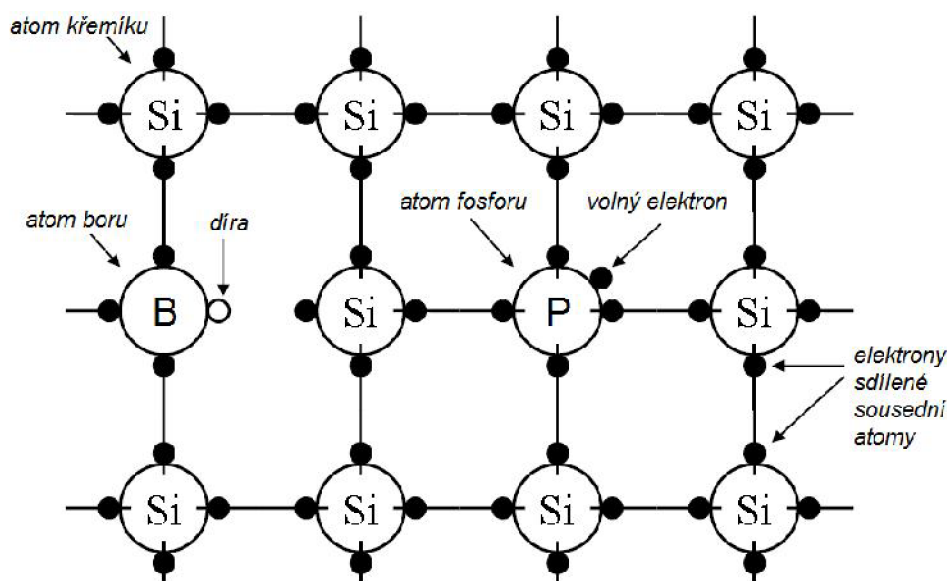
- Volné elektrony
- Elektrický potenciál, který je uvede do pohybu směrem od zdroje do spotřebiče

Problém není s volnými elektrony, jelikož jsou v každém kovu. Ovšem zásadní problém je s usměrněním toku těchto elektronů. Jakmile nám vznikne pár elektron – díra, tak v kovech okamžitě rekombinují a jejich energie se přemění na teplo. Této okamžité rekombinaci musíme

zabránit, abychom mohli vzniklý náboj odvézt z článku a následně ho využít. K tomuto účelu se využívá polovodičů, které nám díky vnitřnímu elektrickému poli PN přechodu separují díry a elektrony.

Elektrické vlastnosti polovodičů leží někde mezi kovy a izolanty. V polovodičích nemáme volné elektrony jako v kovech, nicméně velmi snadno tam mohou vzniknout teplem nebo dopadem slunečního záření. Nejběžnějším typem polovodiče je křemík. Ten je tvořen mřížkou atomů křemíku, které jsou navzájem spojeny kovalentními vazbami, a jak už bylo uvedeno výše, nemáme zde žádné volné elektrony. K uvolnění elektronů z kovalentních vazeb stačí dodat relativně malé množství energie. Křemík nám elektrický proud vede v malé míře již při pokojové teplotě, nebo mírném osvětlení. Při zvyšování teploty nebo osvětlení se uvolňují další elektrony a materiál se stává více vodivým.

Vodivost lze také zvýšit přidáním příměsí. Nejčastěji se dopuje malým množstvím fosforu nebo boru. Fosfor má ve valenční sféře 5 elektronů, avšak ve vazbách s okolními atomy křemíku lze uplatnit jen 4 elektrony. Jeho přidáním nám vznikne polovodič, který je podstatně více vodivý než čistý křemík, jelikož má volné elektrony. Tento typ polovodiče nazýváme N. Obdobně, pokud přidáme do křemíku bor, který má pouze 3 elektrony, tak nám vznikne polovodič typu P s nadbytečnými dírami. Při těsném spojení těchto dvou typů polovodičů nám vznikne v místě dotyku velmi tenká vrstva, kterou nazýváme PN přechod.[5]



Obr. 1-2 Schematické znázornění polovodiče [5]

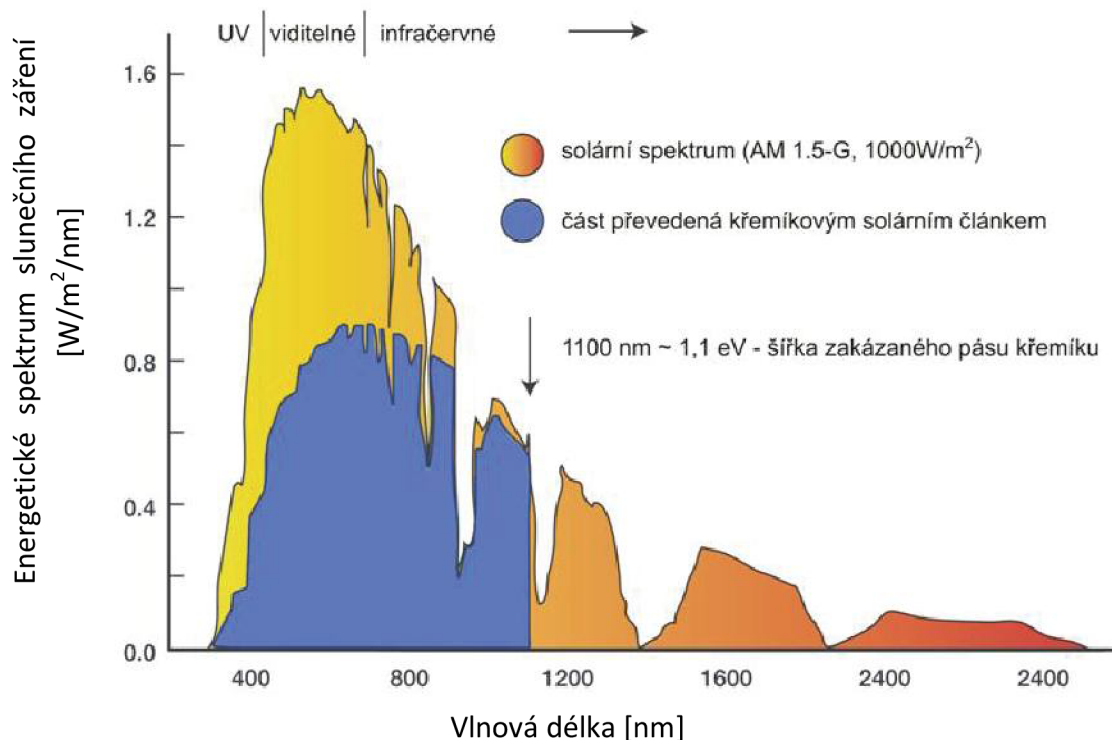
1.3 PN přechod

Spojením polovodičů typu P a N dojde ve snaze vyrovnání koncentrací k difuzi elektronů do části P a děr do části N. Při kontaktu elektronu a díry dojde k jejich rekombinaci (elektron „zapadne“ do díry). Tento pohyb nabitých částic na opačné strany ovšem brzy skončí, jelikož po elektronech zůstanou v polovodiči typu N kladné náboje a po dírách v polovodiči typu P záporné náboje. Další difuze je zastavena vznikem elektrického pole, a tak se dále přesouvá jen malá část elektronů a děr, které jsou v blízkosti PN přechodu. Tímto je nastaven rovnovážný stav, kdy stejné množství elektronů, které projde v důsledku difuze je přetaženo zpět působením

elektrického pole. Výsledkem toho je výrazné snížení vodivosti PN přechodu a vytvoření elektrického potenciálu.[5]

1.4 Využitelnost spektra slunečního záření

Jak již bylo uvedeno výše, spektrální rozsah slunečního záření je 30 až 3000 nm. Záření o vlnových délkách nižších jak 300nm (UV záření) je ve velké míře zachyceno v atmosféře. Sluneční záření dopadající na povrch země obsahuje fotony s energiemi od 0,5 eV (infrachervené záření) do 2,9 eV (ultrafialové záření). Využitelnost spektra je definována šířkou zakázaného pásu. Šířka zakázaného pásu například u křemíku je 1,1 eV, tato hodnota odpovídá vlnové délce přibližně 1100 nm. Do oblasti využitelné křemíkovými články spadá poměrně velká část energie slunečního záření. Tento fakt je jeden z důvodů, proč je křemík nejvíce rozšířeným materiálem v oblasti FV panelů.[2], [5]



Obr. 1-3 Část spektra slunečního záření využitelná křemíkovým fotovoltaickým článkem [2]

2 SOUČASNÝ STAV TECHNOLOGIE FV PANELŮ

2.1 Základní vlastnosti FV článku

Nejjednodušší FV článek si můžeme představit jako velkoplošnou diodu. V tenkém plátku křemíku je pod povrchem vytvořen PN přechod. Tento plátek je z obou stran opatřen vhodnými kovovými kontakty. Výstupní napětí FV článku je dáno použitým polovodičem. U křemíku je to přibližně 0,6 V naprázdno. Pokud článek zatížíme ideálním proudem, pak budeme mít výstupní napětí 0,5 V. Pro získání prakticky využitelného napětí, je nutné články spojovat do série. Zpravidla se spojuje 36 nebo 72 článků a výsledný panel (modul) má pak napětí 18 nebo 36 V.[2], [5]

2.2 Generační rozdělení FV článků

FV články jsou vyvíjeny již 50 let. Během této časové linie bylo vyvinuto nespočet typů a konstrukcí s využitím různých materiálů. Tuto linii můžeme pro přehlednost rozdělit do 4 generačních skupin.[2], [5]

2.2.1 První generace

Jsou to především FV články vyráběné z destiček monokrystalického křemíku, v nichž je vytvořen velkoplošný PN přechod. Tyto články jsou na trhu již od sedmdesátých let a v dnešní době se jedná stále o nejpoužívanější typ. Jejich hlavní výhodou je velmi dobrá účinnost a dlouhodobá stabilita výkonu. Účinnost sériově vyráběných článků se pohybuje v rozmezí od 12 % do 16 %. V laboratorních podmínkách bylo dosaženo 25% účinnosti. Nevýhodou těchto článků je poměrně velká náročnost výroby a relativně velká spotřeba velmi čistého, a tedy i drahého křemíku.[2], [5]

2.2.2 Druhá generace

Toto období je charakterizováno snahami o zlevnění výroby, a to především snižováním potřebného množství křemíku a užitím tenkovrstvých článků. Nejběžnější jsou články z polykrystalického, mikrokrystalického a amorfního křemíku. Jejich nevýhodami je nižší účinnost, řádově 10 % a dlouhodobá nestabilita výkonu. Tenkovrstvé články sebou přinášejí zejména úsporu hmotnosti, a zlepšení mechanických vlastností. Díky těmto vlastnostem existují také FV fólie, které se lepí na rovnou střechu a plní funkci nepropustné folie a zároveň vyrábí elektřinu.[2], [5]

2.2.3 Třetí generace

U této oblasti sledujeme snahy o maximální využití energie dopadajících fotonů slunečního záření. Nejčastěji se k tomu využívá několikánásobných přechodů tenkých vrstev. Do této skupiny se řadí také systémy, které využívají k oddělení nábojů jiné metody než PN přechod a

často i jiné materiály než polovodiče. Jsou to například fotoelektrochemické (fotogalvanické) články, polymerní články, nanostruktury ve formě uhlíkových nanotrubiček nebo nanotyčinek, nebo také struktury vytvořené nanosením takzvaných kvantových teček na vhodnou podložku. U těchto struktur je pak možno cíleně ovlivňovat optické a elektrické vlastnosti pro neefektivnější využití.[2], [5]

2.2.4 Čtvrtá generace

Je to poslední vývojový stupeň, který se snaží využít plně šířku slunečního spektra. Využívá se zde vrstvení FV článků. Články jsou vrstveny tak, že pokud záření dopadne na vrstvu, která ho nedokáže využít, pak toto záření je propuštěno až k vrstvě, jejíž vlnová délka odpovídá vhodnému využití.[2], [5]

2.3 Křemíkové články

Pro výrobu více jak 90 % komerčně dostupných FV článků se používá křemík. Využití křemíku k výrobě FV panelů je dáno tím, že se také používá k výrobě většiny polovodičových součástek. Technologie výroby čistého křemíku je zvládnuta do té míry, abychom získali křemík s čistotou až 99,9999999 %. Cena takového křemíku je relativně vysoká, přestože je křemík v zemské kůře zastoupen 26 %. Pro FV výrobu se dříve využíval pouze křemík, který nebyl dostatečně čistý pro polovodičové součástky. Díky masovému rozvoji FV článků nám tyto zdroje méně čistého křemíku přestali dostačovat, proto se využívá i křemík o čistotě 98-99 %, který má poměrně nižší cenu oproti křemíku pro výrobu polovodičových součástek.[5]

2.3.1 Monokrystalické křemíkové články

Počátek výroby FV panelů je spojen s tímto typem článků. Jsou vyráběny z monokrystalického křemíku, tj. rozměr krystalu je v řádu 10 cm. K výrobě se využívá Czochralského metoda (tažení z kelímku). Ingoty (tyče) se vyrábí pomalým tažením zárodku krystalu z taveniny velmi čistého křemíku. Ingoty monokrystalického křemíku se s pomocí speciální drátové pily dále řezou na tenké plátky. Dříve tloušťky těchto plátků byly řádově 0,25 až 0,35 mm, ale v dnešní době lze vyrábět plátky i o tloušťce 0,1 mm. S poklesem tloušťky plátků se podařilo zmenšit i odpad při řezání. Plátky se dále zarovnávají na rovnoměrnou tloušťku, leští a na povrchu odleptávají nečistoty. PN přechod se vytvoří přidávkem fosforu, který utvoří na povrchu vrstvu s vodivostí typu N. Výroba pomocí zmíněného postupu je poměrně energeticky i technicky náročná. Možné zjednodušení a zlevnění je založeno na principu, kdy se z taveniny rovnou táhne tenký monokrystalický pásek. Tímto způsobem je možné ušetřit až 50 % křemíku. Ovšem účinnost tohoto článku je o něco málo nižší, než u článků vyrobených řezáním z velkých ingotů. [1], [5]



Obr. 2-1 Křemíkové ingoty [8]

2.3.2 Polykrystalické křemíkové články

V dnešní době jde o nejrozšířenější typ článků. Výroba spočívá v odlévání čistého křemíku do vhodných forem a následném řezáním na tenké plátky. Zásadní výhodou těchto článků je obdélníkový nebo čtvercový průřez, výroba článků s většími rozměry a menší nákladnost výroby, jelikož vstupní surovina je levnější. Tyto články mají také své nevýhody, a to nižší účinnost a nižší proud. Horší elektrické vlastnosti jsou způsobeny především stykem jednotlivých krystalových zrn, kde je větší odpor.[5]

2.3.3 Amorfni křemíkové články

Na výrobu těchto článků je potřeba podstatně méně materiálu než oproti monokrystalickým nebo polykrystalickým článkům. Díky tomu mají oproti nim velkou výhodu a jejich velkosériová výroba je podstatně levnější.

Výrobní proces je založen na rozkladu vhodných sloučenin křemíku (silanu nebo dichlorsilanu) ve vodíkové atmosféře. Tímto způsobem lze připravit velmi tenké vrstvy křemíku na skleněné, nerezové nebo plastové podložce. Amorfni články nemají pravidelnou strukturu a obsahují velké množství poruch. Jejich výhodou je, že vrstvy o tloušťce 1 mm pohltí až 90 % slunečního záření. Tato vlastnost nám přináší možnost výroby velmi tenkých a ohebných článků, které se dají našít na oblečení nebo použít jako krycí fólie střeš. Výkon těchto článků nejprve klesá a následně se ustálí na cca 80 %. Účinnost se pohybuje kolem 7 %. S použitím vícevrstvých struktur se dá dosáhnout účinnosti až 13 %.[5]

2.4 Nové trendy a směry vývoje – nekřemíkové články

S vývojem křemíkových článků byly snahy o zlevnění jejich ceny a zvýšení jejich efektivity. Díky masovému nárůstu FV průmyslu v poslední době, přestala dosavadní těžba křemíku dostačovat. To vedlo k vývoji nových článků, využívající jiný materiál než křemík. Víze a cíle vývoje FV článků do budoucna jsou takové, aby cena FV energie vyrovnala cenu energie konvenčních zdrojů.[5]

2.4.1 Galiumarsenid (arsenid galitý, GaAs)

Jedná se o monokrystalické tenkovrstvé články, u kterých je možnost vyrobit je s odlišnými vlastnostmi. Na odlišné vlastnosti má vliv změna poměru Ga/As, a také možnost použití dopujícího prvku (Al, P, Sb, In). Tyto články mají vysokou absorpci, jelikož vrstva o tloušťce 1 μm pohltí téměř všechno dopadající záření. Oproti křemíkovým článkům mají nižší citlivost na vyšší teploty a jejich účinnost je díky této vlastnosti vyšší. Z těchto důvodů se využívají ve FV systémech s koncentrátory záření. GaAs se také často používá ke konstrukci vícepřechodových článků. Nevýhodou těchto článků je, že arsen je jedovatý prvek a galium je relativně málo vyskytující se prvek.[5]

2.4.2 Diselenid mědi a india (CuInSe₂)

Jedná se opět o články s vysokou absorptivitou. Již první mikrometr pohltí 99 % dopadajícího záření. V laboratorních podmínkách bylo dosaženo účinnosti 18 %, což je s ohledem na to, že se jedná o tenkovrstvé články, poměrně vysoká hodnota. Využívá se také varianta, kdy materiál navíc obsahuje galium. Články se dají vyrábět nízkonákladovými technologiemi.[5]

2.4.3 Telurid Kadmia (CdTe)

Tento materiál se vyznačuje ideální vzdáleností valenčního a vodivostního pásu (1,44 eV). Dále má také relativně velkou absorptivitou dopadajícího záření. Podobně jako u CIS lze vyrábět tenkovrstvé články nízkonákladovými technologiemi.[5]

2.4.4 Články využívající organické látky

Vývoj v této oblasti je zaměřen především na nízkou cenu, pružnost a ohebnost článků. Zatím nejsou na komerčním trhu žádné články z organických látek. Nicméně potenciál těchto článků je velmi slibný.[5]

2.4.4.1 Fotogalvanické články s organickým barvivem

Tyto články se také někdy nazývají Grätzlové články. Grätzl v 90. letech vytvořil díky použití ultrajemného TiO₂ článek s účinností v rozumných mezích. Tyto články jsou složeny z vrstvy vysoce porézního a vysoce jemného oxidu titaničitého, v němž je nasáknut roztok elektrolytu obsahující redox dvojici (např. jód/jodid) a vhodné barvivo (organický komplex ruthenia). Výhodnost těchto článků je především v tom, že jsou zde menší nároky na čistotu použitého materiálu. Zásadní nevýhodou je stabilita použitého barviva, jež musí vydržet dlouhou dobu slunečního svitu a nesmí se rozkládat. Další nevýhodou je potíž s kapalným a korozivním elektrolytem, který musí být dokonale uzavřen. U těchto článků bylo dosaženo účinnosti až 7,3 %.[5]

2.4.5 Nanostruktury

Princip technologie je založen na umožnění přípravy dostatečně malých struktur „kvantových teček“. V strukturách tohoto typu se uplatňuje efekt zvaný „quantum confinement“, který nám umožňuje „nastavení“ potřebné šíře zakázaného pásu. Tato technologie je zatím ve fázi vývoje, účinnosti se pohybují jen kolem 3 %.[5]

2.4.6 Fotogalvanické články z vodivých polymerů

Jedná se jistou o analogii k článkům s PN přechodem. Ve směsi vodivých polymerních molekul, z nichž jedna má elektronakceptorové vlastnosti a druhá elektrondonorové vlastnosti, dojde k pohlcení fotonu ke vzniku vázaného páru elektron-díra a za určitých podmínek dojde k přenosu náboje na elektronakceptorovou molekulu. Problémy těchto článků jsou zatím s účinností, pohyblivost elektronů v organických systémech je horší než v anorganických polovodičích. Je tu tedy větší šance k rekombinaci nábojů.[5]

2.4.7 Vícepřechodové struktury (multijunction)

Účinnost FV článku s jedním PN přechodem je závislá jednak na tom, jakou část slunečního spektra může využít a dále na tom, jaká část energie fotonu se přemění na elektrický proud a jaká na teplo. Pokud máme malou šíři zakázaného pásu, pak využijeme širší část spektra, ale zároveň budeme mít nižší napětí a tedy i účinnost. Při větší šíři zakázaného pásu využijeme užší část spektra, a zároveň budeme mít větší napětí článku. Optimální šíři zakázaného pásu se blíží monokrystalické křemíkové články.

Složením jednotlivých vrstev se dá vytvořit vícevrstvá struktura. Každá z vrstev je optimalizována pro určitou část slunečního spektra. Touto optimalizací získáme podstatně lepší využití dopadajícího záření a tedy i vyšší dosažitelnou účinnost. Teoreticky lze využít celé sluneční spektrum.

V praxi se používá struktura, kde ve vrchní vrstvě je polovodič, který zachytává fotony s vyšší energií a propouští dál fotony s nižší energií. Fotony s nižší energií jsou následně zachyceny v další vrstvě, případně vrstvách. Jako materiály se používají např. sloučeniny (InP, GaSb, GaAs). Důkladným výběrem skladby sloučenin lze vyladit šíři zakázaného pásu tak, aby celý článek využil téměř veškerou energii dopadajícího záření. Technicky zvládnuté jsou zatím třívrstvé struktury, na čtyřvrstvých a šestivrstvých strukturách se zatím pracuje. Vícepřechodové články jsou podstatně dražší než křemíkové, proto se často využívají ve spojení s koncentrátorem, který nám umožní zmenšit plochu článku, a zlepšit tak poměr užitné hodnoty k ceně.[5]

2.5 Srovnání FV článků

Jednotlivých typů a technologií FV článků je velké množství, proto pro názornost jsou v tabulce (Tab. 2-1) srovnány účinnosti několika komerčně dostupných typů článků. Z uvedené tabulky je zřejmé, že nejvyšší účinnosti dosahují monokrystalické křemíkové články. Podle účinnosti se také odvíjí cena jednotlivých typů článků.

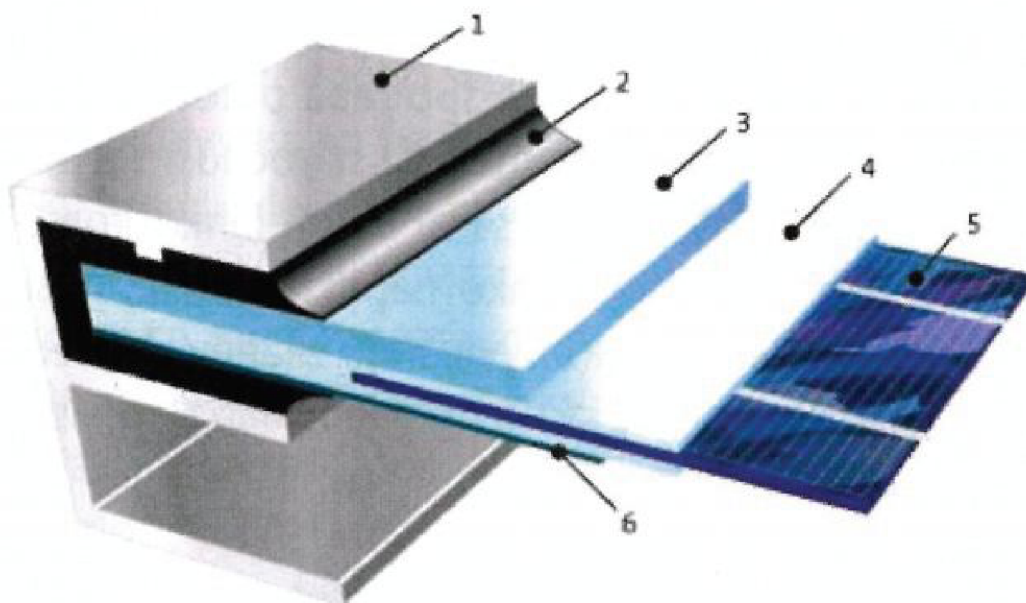
Tab. 2-1 Účinnosti jednotlivých typů fotovoltaických článků [2]

Typ solárního článku	Typická efektivita článku za běžných podmínek	Maximální naměřená efektivita článku za běžných podmínek	Maximální naměřená hodnota článku v laboratoři
	(%)	(%)	(%)
Monokrystalický křemík	12 - 16	22	25
Polykrystalický křemík	11 - 14	16	20
Amorfní křemík	5 - 7	10	13
Telurid kadmia	10	12	16

2.6 Konstrukce FV panelů

Většina FV článků je tvořena poměrně drahými, citlivými a komplikovanými strukturami. Abychom co nejlépe zhodnotili investici do FV panelů, musí být jejich životnost co nejdéle a účinnost co největší. Proto pro dlouhou životnost je nezbytné články chránit proti povětrnostním vlivům (např. kroupy, vítr, vlhkost). Nejčastěji přední stranu panelu tvoří vysoce průhledné, speciálně tvrzené sklo. Vysoká průhlednost v červené a blízké infračervené oblasti spektra je dána sníženým obsahem železa. U moderních článků se využívá antireflexních vrstev, které snižují ztrátu světla odrazem, a tím pádem zvyšují účinnost o několik procent. U monokrystalických článků je tato vrstva často tvořena nitridem křemíku, který se nanáší vakuovým napařováním. Ke snížení reflexe se také využívá vytvoření gradientu indexu lomu nebo vytvoření textury na povrchu. Jednou z možností je leptání bombardováním povrchu ionty ve vakuové komoře s použitím chloru nebo směsi hexafluoridu síry a kyslíku.

Dokonalé utěsnění panelu je zajištěno vakuovou laminací a etylvinylacetátovou folií (EVA), do které jsou články zapouzdřeny. Zadní strana je uzavřena další skleněnou vrstvou nebo také častěji fólií z Tedlaru (fluoropolymer), která je nepropustná pro vodní páru a odolná proti UV záření. Pro zvýšení pevnosti a mechanické odolnosti je panel vsazen do hliníkového, někdy duralového rámu. Rám slouží současně k uchycení k nosným konstrukcím. Zadní stěna panelu je opatřena svorkovnicí s kabelovými vývody, a někdy je součástí panelu i zpětná dioda nebo invertor.[2], [5]



1. hliníkový rám, 2. těsnění, 3. tvrzené sklo, 4. EVA, 5. FV článek, 6. krycí fólie (tedlar)

Obr. 2-2 Struktura FV modulu z křemíku [2]

3 MOŽNOSTI ZAPOJENÍ FV PANELŮ A STŘÍDAČŮ

3.1 Střídače

FV panely generují stejnosměrný proud. Abychom mohli FV elektrárnu připojit do elektrorozvodné sítě, musíme stejnosměrný proud převést na střídavý. Zařízení, které nám umožňuje tuto přeměnu, se nazývá střídač, měnič, nebo také invertor. Většina dostupných střídačů je také schopna poskytovat informace o výrobě elektrické energie.

Základním a jedním z nejdůležitějších parametrů střídačů je dodávka co nejvyššího výkonu s minimem ztrát. Tento požadavek může být zajištěn například odstraněním transformátoru, s čímž nám poklesnou také ztráty. Další možností je zařízení pro sledování bodu maximálního výkonu, které nám změnou vstupního odporu zajišťuje ideální provozní vlastnosti střídače. Přifázování střídače k elektrorozvodné síti je u většiny střídačů plně automatizováno. Z kmitočtového hlediska můžeme střídače rozdělit na ostrovní a síťové.[2]

3.1.1 Ostrovní střídače

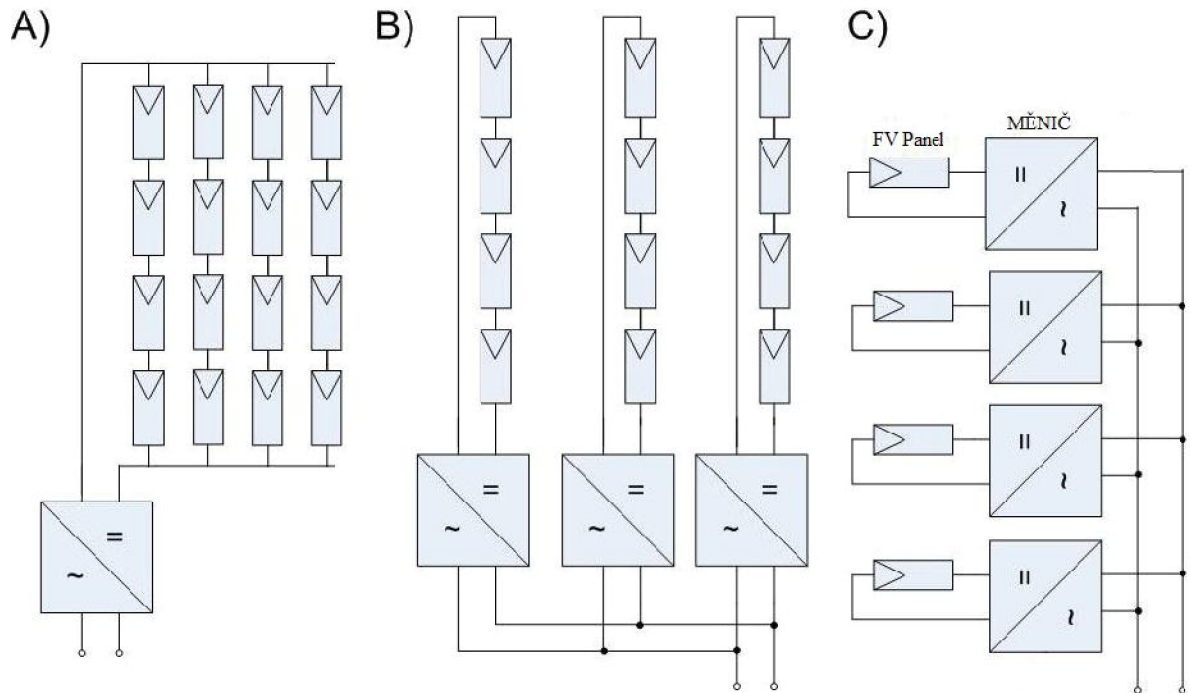
Jsou to střídače užívané především v autonomních systémech (Grid-off), kdy výstupní napětí střídače není připojeno na elektrorozvodnou síť. Tyto střídače si generují svůj vlastní kmitočet, který odpovídá kmitočtu v elektrorozvodné síti ($f = 50 \text{ Hz}$). Z toho důvodu je možné v síti s těmito střídači použít běžné elektrické spotřebiče střídavého proudu.[2]

3.1.2 Síťové střídače

Tyto střídače se používají především v systémech přímo připojených na elektrorozvodnou síť (Grid-on). Jejich kmitočet a napětí je synchronizováno s aktuálními parametry sítě. Z hlediska zapojení FVE můžeme střídače rozdělit na tři základní skupiny, které jsou zobrazeny na obrázku (Obr. 3-1):

- A) Centrální střídače (k střídači jsou připojeny stovky až tisíce FV panelů).
- B) Řetězcové nebo swingové střídače (ke každému střídači je připojeno několik FV panelů vzájemně propojených do série, případně paralelně).
- C) Modulové střídače (k střídači je připojen pouze jeden FV panel).

Modulové střídače se využívají pouze pro malé aplikace. Elektrárny středních velikostí využívají řetězcové střídače a velké elektrárny využívají centrální střídače.[2]



Obr. 3-1 Příklady zapojení střídačů [2]

3.2 Rozdělení FV systémů podle zapojení

FV systémy můžeme rozdělit podle způsobu zapojení na tři základní druhy:

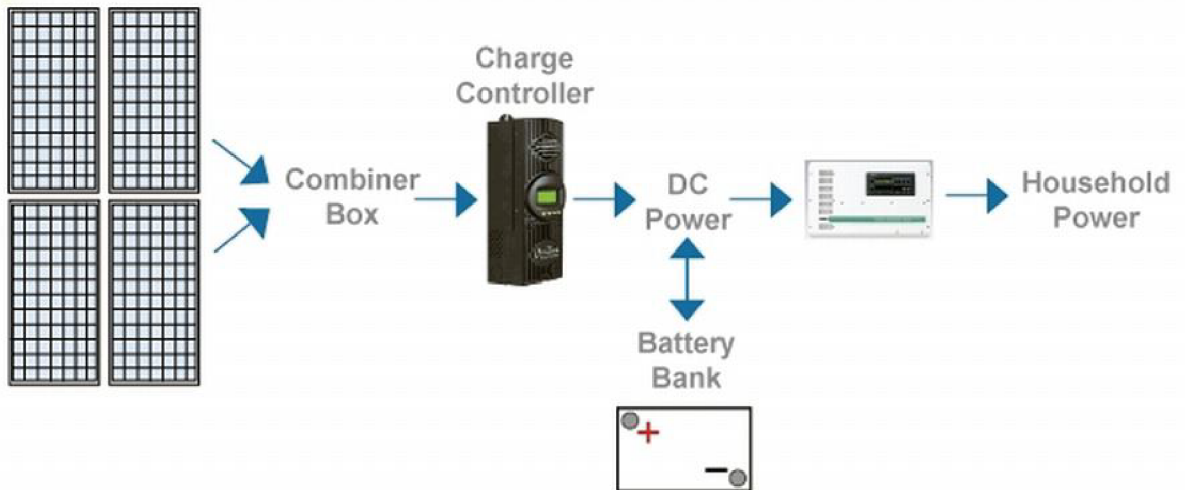
- autonomní systémy
- hybridní systémy s akumulací
- systémy přímo spojené se sítí, bez akumulace [2]

3.2.1 Autonomní systémy (Grid-off)

Autonomní systémy vznikly z důvodu potřeby elektřiny v místech, kde není dostupná elektrorozvodná síť. Jsou to například chaty, dopravní signalizace, telekomunikační zařízení, zahradní osvětlení a světelné reklamy. Pro označení těchto systémů se také někdy užívá zkratka Grid-off.

Tyto systémy jsou složeny ze zdroje energie (v našem případě FV modul, ale může to být také například malý větrný generátor), akumulátorové baterie a ochranného obvodu. Ochranný obvod je zde umístěn z důvodu ochrany akumulátorové baterie před nadměrným vybitím nebo přebitím. Autonomní systémy většího rozsahu a velikosti mohou obsahovat i napěťový střídač. Příklad blokového schématu autonomního systému je uveden na obrázku (Obr. 3-2).

Akumulátorové baterie jsou speciálně konstruované pro pomalé nabíjení i vybíjení. Optimální průběh nabíjení i vybíjení akumulátoru je řízen regulátorem dobíjení. Zpravidla se k tomuto systému připojují spotřebiče napájené stejnosměrným proudem o napětí 12 nebo 24 V. Dle požadavků můžeme k této síti připojit přes napěťový střídač také běžné síťové spotřebiče 230 V/~ 50 Hz.[2]



Obr. 3-2 Blokové schéma systému Grid-off [2]

3.2.2 Hybridní systémy s akumulací

Hybridní systémy jsou kombinací autonomních systémů (Grid-off) a systémů přímo spojených se sítí (Grid-on). Tyto systémy mají oproti systémům Grid-on velkou výhodu v maximálním využití vyrobené energie v místě spotřeby. Příklad blokového schématu autonomního systému je uveden na obrázku (Obr. 3-3).

Další zásadní výhodou hybridních systémů je integrovaná funkce pro využití nepotřebné energie výkonových špiček. Tuto funkci zajišťuje inteligentní hybridní střídač, který dokáže přeměrovat nepotřebnou energii do vybraného energeticky náročného spotřebiče. Energií je schopen přeměrovat v reálném čase, případně s řízeným zpožděním.[2]



Obr. 3-3 Blokové schéma hybridního systému [2]

3.2.3 Systémy přímo připojené k elektrické síti (Grid-on)

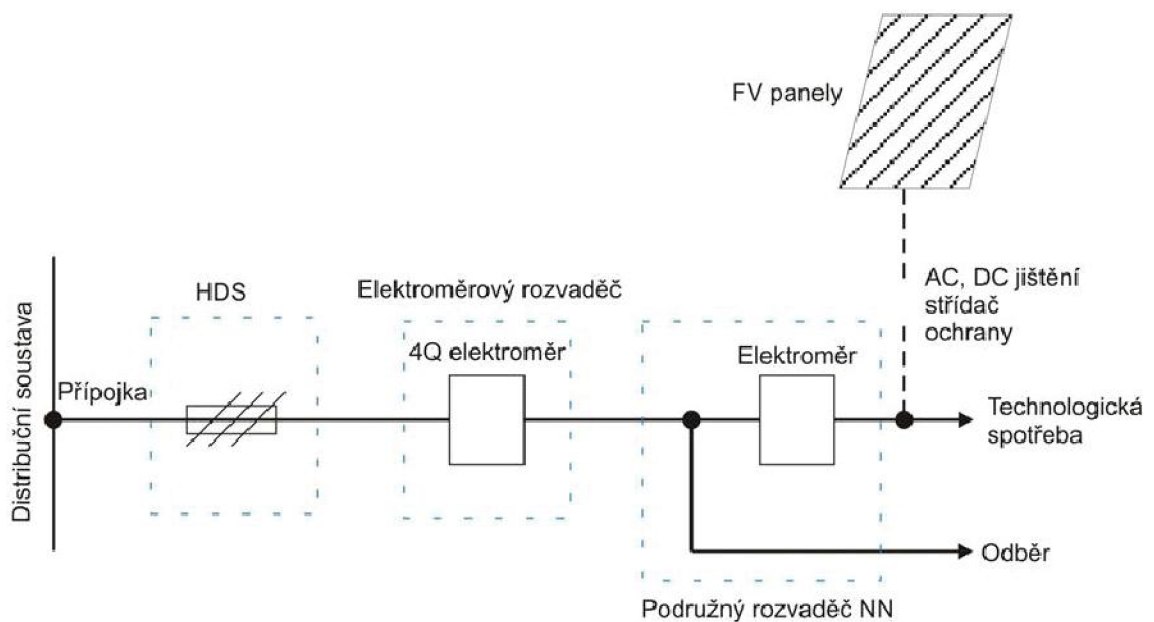
Nespornou výhodou Grid-on systémů je fakt, že oproti systémům Grid-off je veškerá vyrobená energie zpracována. Systémy Grid-on jsou nejčastěji aplikovány na FV systémech větších celků, tedy FV elektrárnách. Systémy se skládají z větších množství FV modulů, napěťových měničů, zařízení pro měření a regulaci a síťových ochran.[2]

3.3 Využití výkupní ceny a zeleného bonusu

Z investičního hlediska se FV systémy dělí na menší instalace, kterými se osazují obytné domy. Zpravidla se jedná o systémy s instalovaným výkonem v rozmezí 1–12 kWp. Instalace většího rozsahu se osazují na střechy komerčních objektů, nebo jsou umístěny na hliníkových konstrukcích, které jsou zasazeny do terénu. V případě instalací větších rozsahů mluvíme o instalovaných výkonech od 20 kWp až po jednotky MWp. Velikost instalovaného výkonu ovlivňuje volbu státem garantované podpory.[2]

3.3.1 Zelený bonus a vlastní spotřeba

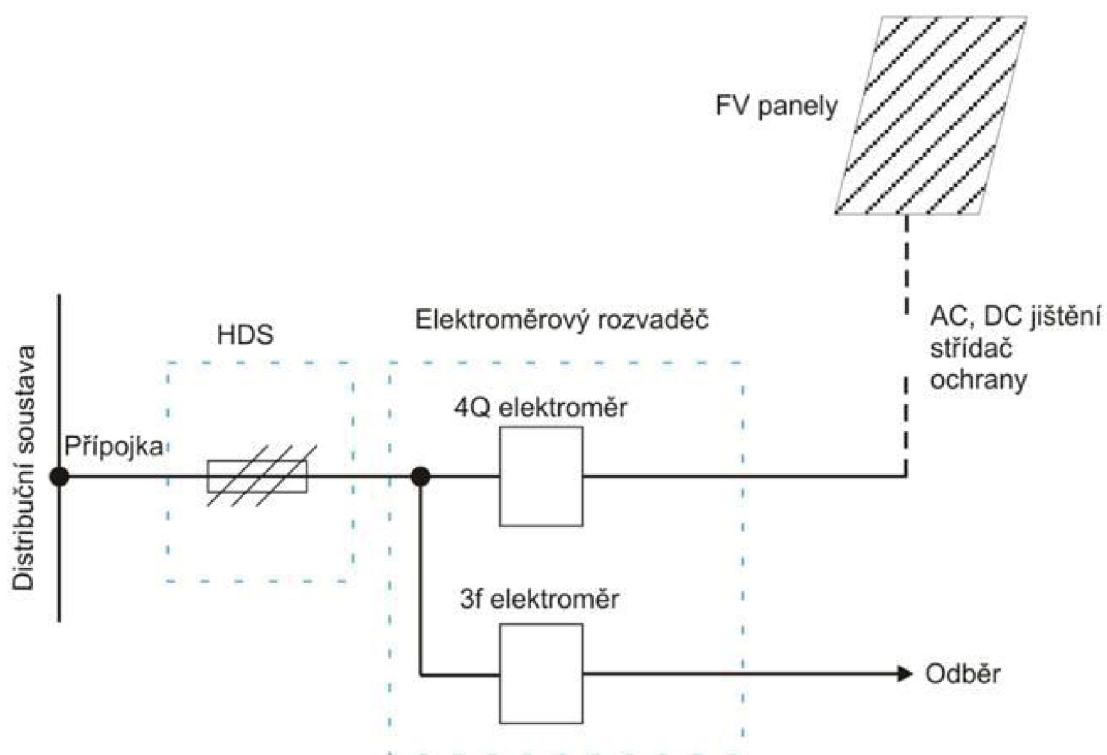
Zelený bonus jako státem garantovaná podpora se zpravidla využívá v případě, kdy je převážná část vyrobené elektrické energie využita pro vlastní spotřebu v místě objektu, kde byla energie vyrobena. FV systém je připojen přes jednodvadrantový elektroměr na domovní rozvod. Tento elektroměr nám měří množství vyrobené energie pro fakturaci zeleného bonusu. Vyrobena energie je spotřebovávána v místě výroby a nespotebovaná energie odchází přes čtyřkvadrantový elektroměr do distribuční sítě.[2]



Obr. 3-4 Zapojení systému pro vlastní spotřebu [2]

3.3.2 Výkupní cena

Výkupní cena se využívá u FV systémů velkých rozsahů, kde není možnost využít velkou část vyrobené energie v místě výroby. FV systém je zde připojen přes čtyřkvadrantový elektroměr přímo na distribuční síť. Veškerá vyrobená energie je tedy odeslána do distribuční sítě.[2]



Obr. 3-5 Zapojení systému pro dobývku do sítě [2]

4 NÁVRH STŘEŠNÍHO FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU

Střešní fotovoltaické systémy se v nedávné minulosti staly běžnou součástí jak rodinných a bytových domů, tak i budov ke komerčnímu využití. Je to jeden z možných způsobů jak snížit energetické náklady na provoz objektu nebo získat energetickou nezávislost. S velkou oblibou se také instalují na rekreační objekty, kde nejsou přivedeny inženýrské sítě. Instalace střešního FV systému může být také velmi výhodná investice vzhledem k finanční podpoře a růstu cen elektrické energie.

4.1 Výběr a popis lokality

Při výběru lokality je vhodné vzít v úvahu sluneční napu ČR (Obr. 1-1) a vybrat lokalitu, kde celkové (roční) ozáření sluncem dosahuje vyšších hodnot. V našem návrhu byl zvolen rodinný dům nacházející se ve Zlínském kraji, městě Hluk, v nadmořské výšce 225 m. Zvolený dům má střechu stanového typu, jsou zde tedy čtyři plochy s azimutem pootočeným vzájemně od sebe o 90°. Jako střešní krytina je zde použita pálená taška. Dům má dvě nadzemní podlaží a v jeho nejbližším okolí se nenachází žádné překážky, které by zastíňovaly v průběhu dne dopadu slunečních paprsků na FV panely a tím snižovaly účinnost celého systému. Na střeše jsou umístěny dva komíny, jeden na jiho-východní straně a druhý na severo-západní straně.

4.2 Návrh systému

Z možných čtyř střešních ploch byly z hlediska orientace ke slunci vybrány dvě. První je orientovaná jiho-východně, 60° od jihu a druhá jiho-západně, 30° od jihu. Sklon těchto ploch je 29° a 24°. Pro maximální využití energie slunce je v ČR ideální sklon 35°. Rozdíl mezi ideálním sklonem a sklonem našich ploch nebude mít výrazný vliv na celkovou roční produkci energie. Střešní plochy osadíme dvěma stringy po 12 a 16 panelech, které budou zapojeny z hlediska maximálního výkonového přizpůsobení na dva MPP trackery střídače. Z důvodu umístění komínu na jiho-východní střeše bylo nutné uvažovat možné zastínění panelů a panely osadit tak, aby komín nevrhal v průběhu dne stín na žádný z nich. Pokud by dopadal stín na některý z panelů, pak bychom zde měli slabý článek, který by výrazně ovlivňoval celkovou účinnost systému. Nákres střechy a rozmístění jednotlivých panelů je uvedeno v příloze (1).

4.2.1 Panely a střídač

Mezi nejdůležitější části návrhu patří volba panelů a následně jim odpovídajícího střídače. Panely je vhodné volit podle toho, kolik panelů na střechu můžeme osadit a podle toho jaký instalovaný výkon očekáváme. Z hlediska efektivní návratnosti systému je také velmi vhodné brát v úvahu cenu jednoho wattpeaku. V našem návrhu byly zvoleny panely značky Renesola s maximálním výkonem 250 W_p . Cena za jeden W_p u tohoto panelu vychází na 19,65 Kč. Jakmile máme zvolený druh panelu, můžeme určit z počtu panelů a maximálního výkonu jednoho panelu instalovaný špičkový fotovoltaický výkon a také výkon jednotlivých stringů, který je důležitý pro výpočet celkové vyrobené elektrické energie.

$$P_{DC} = P_{max} \cdot n_c = 250 \cdot 28 = 7 \text{ kW}_p \quad (4.1)$$

$$P_{MPP1} = P_{max} \cdot n_{MPP1} = 250 \cdot 12 = 3 \text{ kW}_p \quad (4.2)$$

$$P_{MPP2} = P_{max} \cdot n_{MPP2} = 250 \cdot 16 = 4 \text{ kW}_p \quad (4.3)$$

Po určení celkového špičkového fotovoltaického výkonu a také výkonu jednotlivých stringů následuje výběr odpovídajícího střídače. Při výběru střídače vycházíme z instalovaného špičkového fotovoltaického výkonu, dále z nutnosti použít střídač minimálně se dvěma MPP trackery a poslední zásadní podmínkou je nutnost použít třífázový střídač, jelikož jednofázový střídač lze použít, dle čtvrté přílohy pravidel provozu distribučních soustav[9], pouze do výkonu 4,6 kVA. Tyto základní podmínky splňuje řada střídačů, ale zvolený střídač je nutné ještě překontrolovat na minimální a maximální vstupní napětí MPP trackeru.

Kontrolu provedeme pro maximální možné napětí, tedy napětí naprázdno při $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ a pro napětí při maximálním výkonu při $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ a $+70 \text{ }^\circ\text{C}$. Pro přepočítání napětí byl použit teplotní koeficient panelů $-0,30 \text{ } \%/^\circ\text{C}$ a výsledná napětí pro námi zvolené panely jsou uvedeny v tabulce (Tab. 4-1). Tyto napětí musí spadat do rozsahu napětí MPP trackeru ($U_{MPPmin} - U_{MPPmax}$). Jelikož máme z důvodu výkonového přizpůsobení panely nerovnoměrně rozděleny na 12 a 16 panelů, pak rozsah mezních napětí je poměrně široký. Pro široký rozsah napětí je obtížné vybrat vhodný střídač. Jako nejvhodnější pro náš návrh byl vybrán střídač SMA Sunny Tripower 7000TL, který má rozsah $U_{MPPmin} - U_{MPPmax} = 290 - 800 \text{ V}$. U tohoto střídače splňujeme obě mezní hodnoty napětí a při $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ a $+70 \text{ }^\circ\text{C}$ nám napětí nepoklesne, případně nepřekročí mezní napětí.

Vstupní proudové omezení střídače je $I_{MPP1max} = 15 \text{ A}$ a $I_{MPP2max} = 10 \text{ A}$ pro jednotlivé stringy. Panely jsou nám schopny dodávat proud $I_{DC} = 8,31 \text{ A}$ při maximálním výkonu. Jelikož máme veškeré panely zapojeny do série, pak maximální vstupní proud střídače nebude překročen.

Zvolený střídač splňuje také podmínku, že musí být třífázový a zároveň vyhovuje výkonově, jeho maximální DC výkon je vyšší, než instalovaný špičkový fotovoltaický výkon panelů.[10], [11]

Tab. 4-1 Minimální a maximální napětí stringů

String	n_p	U_{max-20}	U_{mp-20}	U_{mp+70}
	[ks]	[V]	[V]	[V]
1	12	509	410	312
2	16	679	547	417

4.2.2 Základní parametry potřebné k výpočtu

4.2.2.1 Fotovoltaické panely

Výrobce:	Renesola
Modelová řada:	Virtus II
Typ:	JC250M-24/Bb
Maximální výkon:	250 W _p
Proud při maximálním výkonu:	8,31 A
Napětí při maximálním výkonu:	30,1 V
Proud nakrátko:	8,83 A
Napětí naprázdno:	37,4 V
Teplotní koeficient:	-0,30 %/°C [10]

4.2.2.2 Střídač

Výrobce:	SMA
Typ:	Sunny Tripower 7000TL
Maximální výkon DC:	7125 W
Maximální vstupní proud:	15 A / 10 A
Rozsah napětí MPP:	290 – 800 V
Jmenovitý výkon AC:	7000 W
Maximální výstupní proud:	10,2 A
Účinnost evropská:	97,5 % [11]

4.2.3 Konstrukce

Upevnění panelů ke střešní konstrukci je provedeno standardními konstrukčními prvky, které se používají k montáži FV systémů. K trámům jsou připevněny háky, které jsou vyvedeny nad střešní krytinu. Na háky jsou připevněny hliníkové profily. Rozteč mezi háky, na které je připevněn tentýž profil, je jeden metr. Panely jsou připevněny k hliníkovým profilům pomocí středových a koncových držáků. Každý panel musí být připevněn ke dvěma hliníkovým profilům.

4.2.4 Elektrické schéma

Z hlediska efektivní návratnosti investice a částečné energetické nezávislosti objektu bylo zvoleno využití státní podpory formou zeleného bonusu. To znamená, že FV systém bude připojen na domovní elektroinstalaci a elektrická energie vyrobená FV systémem se bude spotřebovávat přímo v objektu výroby. Elektrické schéma výroby je uvedeno v příloze (2).

4.2.5 Ochrany

Dle čtvrté přílohy pravidel provozu distribučních soustav[9], je povinnost výrobnu před spojením s DS opatřit spínacím zařízením (vazebním spínačem) se schopností minimálně vypínání zátěže. V případě výrobnu se střídači je nutné spínací zařízení umístit na straně s AC napětím. Dále musí být spínacímu zařízení předřazena zkratová ochrana. V našem návrhu byl jako zkratová ochrana zvolen jistič, který musí být dimenzován na maximální výstupní proud střídače $I_{ACmax} = 10,2 \text{ A}$. [9]

Zvolený byl třífázový jistič s nejbližší vyšší hodnotou jmenovitého proudu, $I_{nj} = 13 \text{ A}$. Pro výběr stykače platí taktéž maximální výstupní proud střídače, byl zvolen stykač s $I_{ns} = 16 \text{ A}$.

Pro bezproblémový chod FV systému po dobu celé své životnosti je vhodné již při projektování navrhnout komplexní ochranu proti atmosférickým a indukovaným přepětím. K zajištění účinného snížení přepětí bylo v našem návrhu použito kombinace pospojování na společný potenciál, uzemnění pomocí stávajícího hromosvodu a použití přepětěvých ochran.

Výběr správné přepětěvé ochrany na DC straně měniče posuzujeme podle jejího maximálního trvalého pracovního napětí, které musí mít stejnou nebo vyšší hodnotu, než maximální napětí naprázdno U_{max-20} a současně musí platit vztah (4.4), kde U_{mp} je provozní napětí při jmenovitém výkonu a U_{DCmax} maximální vstupní napětí střídače. [12]

$$U_{mp} < U_{max-20} < U_{DCmax} \quad (V; V; V) \quad (4.4)$$

Pro splnění výše uvedeného byly vybrány dva svodiče přepětí s trvalým pracovním napětím pro první string $U_{CPV} = 510 \text{ V}$ a pro druhý string $U_{CPV} = 750 \text{ V}$. [13], [14]

Vedení na straně DC je nutné také opatřit pojistkovými odpojovači a vhodnými pojistkami. Byly zvoleny pojistky se jmenovitým napětím $U_{np} = 900 \text{ V}$ a jmenovitým proudem $I_{np} = 10 \text{ A}$. [15]

4.2.6 Dimenzování vedení a výpočet ztrát systému

Přenos elektrické energie od panelů až po místo, kde bude výrobnu připojena k DS bude proveden DC i AC vedením. DC vedení bude použito mezi panely a střídačem, který bude umístěn na půdě domu. Vedení AC bude použito mezi střídačem a HDS, kde bude výrobnu připojena na domovní síť.

U DC vedení je na výběr z normalizovaných průřezů 4 a 6 mm², byl zvolen průřez 4 mm² a s využitím katalogové hodnoty činného odporu vedení $R_{DC} = 4,85 \Omega$ následně ověřeny procentní ztráty, které nám na vedení vzniknou. Délku vedení budeme uvažovat 10 m. [16]

$$\Delta P_{MPP1\%} = \frac{2 \cdot R_{DC} \cdot l \cdot I_{DC}^2}{P_{MPP1}} \cdot 100 = \frac{2 \cdot 4,85 \cdot 0,01 \cdot 8,31^2}{3000} \cdot 100 = 0,22 \% \quad (4.5)$$

$$\Delta P_{MPP2\%} = \frac{2 \cdot R_{DC} \cdot l \cdot I_{DC}^2}{P_{MPP2}} \cdot 100 = \frac{2 \cdot 4,85 \cdot 0,01 \cdot 8,31^2}{4000} \cdot 100 = 0,17 \% \quad (4.6)$$

$$\Delta P_{DC\%} = \frac{\Delta P_{MPP1\%} \cdot P_{MPP1} + \Delta P_{MPP2\%} \cdot P_{MPP2}}{P_{DC}} = \frac{0,22 \cdot 3 + 0,17 \cdot 4}{7} = 0,19 \% \quad (4.7)$$

Výsledné ztráty pro DC vedení s kabelem o průřezu 4 mm² jsou dány z váženého průměru dílčích ztrát jednotlivých stringů a jsou rovny 0,19 %. Pro AC vedení byl zvolen průřez 2,5 mm² s ohledem na vzniklé procentní ztráty. Pro výpočet byl použit činný odpor vedení $R_{AC} = 7,41 \Omega$. Délku vedení budeme uvažovat 10 m.[17]

$$\Delta P_{AC\%} = \frac{R_{AC} \cdot l \cdot I_n^2}{P_{AC}} \cdot 100 = \frac{7,41 \cdot 0,01 \cdot 10,2^2}{7000} \cdot 100 = 0,11 \% \quad (4.8)$$

Celkové ztráty, které nám vzniknou v DC i AC vedení jsou dány součtem ztrát v obou vedeních, pak celkové ztráty vedení jsou:

$$\Delta P_{vedení\%} = \Delta P_{DC\%} + \Delta P_{AC\%} = 0,19 + 0,11 = 0,3 \% \quad (4.9)$$

Pro výpočet celkových ztrát systému musíme brát v úvahu mnoho faktorů, zejména jsou to ztráty vzniklé ve vedení, přeměnou energie ve střídači, přizpůsobením MPP, zastíněním panelů, znečištěním panelů a dalšími vlivy. Účinnost přizpůsobení MPP výrobce neudává, proto budeme ztráty přizpůsobením MPP, znečištěním a možným zastíněním panelů odhadovat jako $\Delta P_{ostatní\%} = 6,2 \%$. Celkové ztráty vyjádříme součtem dílčích ztrát následujícím způsobem:

$$\Delta P_{celkové\%} = \Delta P_{vedení\%} + \Delta P_{EU\%} + \Delta P_{ostatní\%} = 0,3 + 2,5 + 6,2 = 9 \% \quad (4.10)$$

Celkové ztráty nezahrnují ztráty vzniklé v důsledku teploty, nízkého ozáření a úhlové odrazivosti. Taky zde nejsou uvažovány ztráty vzniklé vlivem stárnutí panelů.

4.3 Přihlašovací řízení

Pro přihlášení výroby je zapotřebí předat provozovateli DS:

- Žádost o připojení

- Katastrální mapu s vyznačením pozemku nebo výroby, výpis z katastru nemovitostí
- Údaje o zkratové odolnosti předávací stanice
- Popis ochran s přesnými údaji o druhu, výrobcí, zapojení a funkci
- Příspěvek vlastní výroby k počátečnímu zkratovému proudu v místě připojení stanice k síti
- Zkušební protokoly k očekávaným proudům harmonických a mezipharmonických, impedance pro frekvence HDO (183 až 283 Hz)
- Dotazník s technickými údaji o zařízení[9]

4.4 Kalkulace nákladů

Celková kalkulace investičních nákladů byla provedena s ohledem na aktuální ceny, s využitím dostupných internetových obchodů. Byly zde započítány veškeré očekávané náklady na pořízení, instalaci a uvedení výroby do provozu. Celkové investiční náklady pro zrealizování investičního záměru jsou vyčísleny na 258 702 Kč. V této částce je započítána 21% daň z přidané hodnoty. Součástí kalkulace není domovní elektroměr, jehož výměnu hradí distribuční společnost. Rozpis veškerých položek je uveden v tabulce (Tab. 4-2)

Tab. 4-2 Kalkulace investičních nákladů

Položka	Ks	Cena ks [Kč]	bez DPH [Kč]	s DPH [Kč]
Panel solární Renesola poly 250Wp Virtus II	28	4060	113680	137553
Střídač SMA Sunny Tripower 7000TL-20	1	44152	44152	53424
Hliníkový profil 39mmx37,1mm (délka 6m)	12	759	9113	11026
Střešní hák z nerezů včetně šroubů a matice	76	154	11681	14134
Koncový držák - klema včetně šroubů "Z"	40	27	1092	1321
Středový držák - klema včetně šroubů "U"	36	24	864	1045
Spojovací díl solárního profilu	76	67	5084	6152
Matice čtyřhranná M8 DIN557	76	5	380	460
Konektor MC4 PV-KST (samec)	2	32	64	78
Konektor MC4 PV-KBT (samice)	2	43	86	104
Kabel solar 1 x 4 mm ² černý dvouvplášťový	40	12	484	586
Kabel CYKY-J 5x2,5	10	27	269	325
Elektroměr 3F AMT B0C 5-65 A - cejchovaný	1	2275	2275	2753
Svodič SALTEK SLP-PV500 V/U	1	1679	1679	2032
Svodič SALTEK SLP-PV700 V/Y	1	1679	1679	2032
Stykač 3F 16A 3S VS316-230V	1	397	397	480
Jistič MOELLER 263388 3F 13A/B 10kA	1	312	312	378
Pojistkový odpojovač OPF10-2 DC	2	146	292	353
Pojistka PF10 10A gR	4	61	244	295
Rozvodnice MIP12118 Mini Pragma 18M	2	541	1083	1310
Práce	1	13000	13000	15730
Doprava	1	3000	3000	3630
Revize	1	1653	1653	2000
Územní řízení	1	500	500	500
Licence	1	1000	1000	1000
Celkem				258702

5 VÝPOČET VYROBENÉ ENERGIE

Výpočet vyrobené elektrické energie je náročný proces, při kterém se musí brát v úvahu mnoho parametrů FV systému a faktorů, které ovlivňují celkové množství vyrobené energie. Pro zjednodušení výpočtu byla použita aplikace fotovoltaického geografického informačního systému[18]. Jelikož náš návrh obsahuje dva stringy s rozdílnými parametry, je proto nutné provést výpočet pro každý string samostatně.

Do aplikace je nutné zadat pro realizaci výpočtu následující parametry:

- GPS souřadnice
- Materiál, ze kterého jsou panely vyrobeny
- Instalovaný špičkový fotovoltaický výkon
- Ztráty v systému (od panelu po elektroměr)
- Montážní polohu
- Sklon FV panelů
- Azimut

Pro vlastní výpočet generuje aplikace tyto hodnoty:

- Odhadované ztráty v důsledku teploty a nízkého ozáření
- Odhadované ztráty v důsledku úhlové odrazivosti

Tab. 5-1 Parametry výpočtu

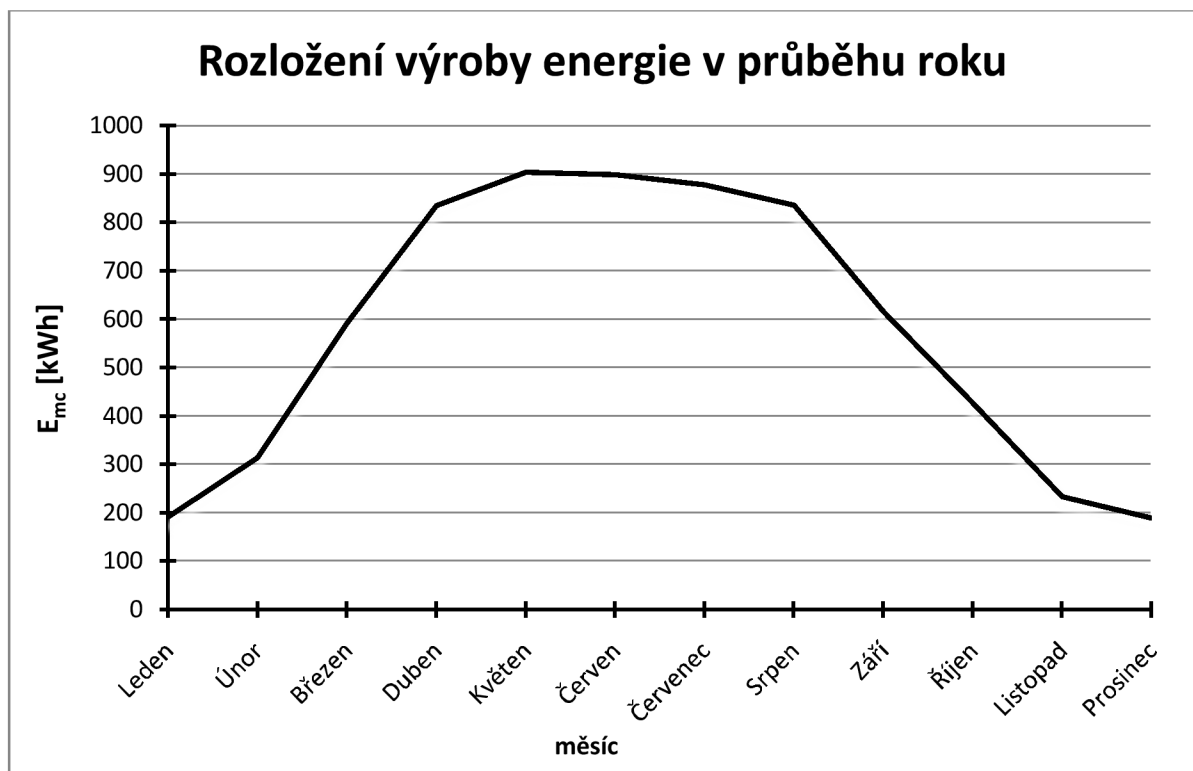
String	1	2
Orientace	Jiho-východ, 60° od jihu	Jiho-západ, 30° od jihu
Azimut [°]	-60	+30
Sklon FV panelů [°]	29	24
Počet panelů [ks]	12	16
Instalovaný výkon [kW_p]	3	4
Ztráty teplotou a ozářením [%]	11,4	11,8
Ztráty úhlovou odrazivostí [%]	3,3	3,1
Ostatní ztráty systému [%]	9	
Materiál panelů	Krystalický křemík	
GPS souřadnice	48°59'27.388"N, 17°30'51.148"E	
Montážní poloha	Součást budovy	

Do systému byly zadány hodnoty uvedené v tabulce (Tab. 5-1). Výstupem aplikací provedeného výpočtu jsou průměrné denní a průměrné měsíční produkce elektřiny z daných stringů. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce (Tab. 5-2). Celková roční produkce je dána součtem všech měsíčních produkcí energie obou stringů. V prvním roce bude produkce dosahovat 6920 kWh. V dalších letech bude celková roční produkce klesat z důvodů degradace

panelů vlivem stárí. Z grafu rozložení výroby (Obr. 5-1) je patrné, že výroba energie bude v měsících od Dubna do Srpna dosahovat měsíční produkce více jak 800 kWh. V ostatních měsících bude výroba nižší, v Prosinci a Lednu klesne ke 200 kWh.

Tab. 5-2 Vyrobená energie

Měsíc	String 1		String 2		E_{mc}
	E_{d1}	E_{m1}	E_{d2}	E_{m2}	
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Leden	2,48	76,7	3,71	115	192
Únor	4,55	127	6,69	187	314
Březen	7,86	244	11,2	348	592
Duben	11,6	348	16,2	487	835
Květen	12,3	381	16,9	523	904
Červen	12,7	381	17,3	518	899
Červenec	12,0	371	16,3	507	878
Srpen	11,3	350	15,7	486	836
Září	8,50	255	12,0	361	616
Říjen	5,61	174	8,16	253	427
Listopad	3,11	93,3	4,68	140	233
Prosinec	2,46	76,1	3,66	113	189
Roční průměr	7,88	240	11,10	337	576
Celkem za rok		2880		4040	6920



Obr. 5-1 Rozložení výroby energie v průběhu roku

6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ INVESTICE

Pokud vezmeme FV systém jako investiční projekt, pak z hlediska investičního rozhodování je nutné brát v úvahu několik základních předpokladů. Jako nejdůležitější předpoklad můžeme považovat investiční kritéria, kterými jsou výnosnost, riziko a likvidita. Jelikož investor investuje do technického zhodnocení vlastního domu, můžeme likviditu zcela opomenout. Taktéž můžeme částečně opomenout riziko, které je minimální z hlediska garance výkupních cen a zelených bonusů po dobu dvaceti let. Částečné riziko hrozí v závislosti na neočekávaných investičních nákladech vzniklých závadou některé z částí výroby. Dalším důležitým předpokladem při investičním rozhodování je doba návratnosti, tedy doba, za kterou postupně splatí kumulované příjmy investovaný kapitál.[19]

Při zhodnocení a stanovení doby návratnosti by v úvahu měla být brána také časová hodnota peněz, která se mění vlivem míry inflace nebo vlivem míry výnosnosti. Průměrná míra inflace za posledních deset let, tedy od roku 2002 do roku 2012 činí 2,35 %. Úroková sazba spořicíh účtů a termínovaných vkladů se pohybuje okolo 2% hranice. V rámci naší investice budeme uvažovat časovou hodnotu peněz nad úrovní úrokových sazeb spořicíh účtů a termínovaných vkladů, i nad úrovní inflace, použijeme tedy 3% roční úrokovou míru.[19], [20]

6.1 Státem garantovaná podpora

Při stanovení příjmů bude mít největší podíl na celkovém obrátu státem garantovaná podpora. V našem případě jelikož si majitel zvolil připojení FV systému na domovní rozvod se bude jednat o zelený bonus. V současné době podpora výroby elektrické energie jak ze slunečního záření, tak i z většiny ostatních obnovitelných zdrojů klesá. Je to zapříčiněno výrazným zdražením elektrické energie pro koncové spotřebitele v důsledku podpory těchto zdrojů. Přehled výkupních cen a zelených bonusů pro elektřinu vyrobenou s využitím slunečního záření, platných pro uvedení do provozu v roce 2013 můžeme vidět v tabulce (Tab. 6-1).[21]

Tab. 6-1 Výkupní ceny a zelené bonusy pro výrobu elektřiny ze slunečního záření [21]

Datum uvedení Výrobný do provozu		Instalovaný výkon Výrobný [kW]		Výkupní ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
od	do	od	do		
1. 1. 2013	30. 6. 2013	0	5	3410	2860
1. 1. 2013	30. 6. 2013	5	30	2830	2280
1. 7. 2013	31. 12. 2013	0	5	2990	2440
1. 7. 2013	31. 12. 2013	5	30	2430	1880

Z výše uvedené tabulky je zřejmé, že návratnost se bude výrazně lišit v závislosti na datu připojení výrobný do provozu. Pokud by byla výrobná připojena v období od 1. 1. 2013 do 30. 6. 2013, pak při instalovaném výkonu 7 kW bude podpora v rámci zeleného bonusu 2280 Kč/MWh. V případě připojení v období mezi 1. 7. 2013 a 31. 12. 2013 to bude

1880 Kč/MWh. Tyto částky jsou garantovány po dobu dvaceti let s pravidelnou roční indexací 2 %.

6.2 Vlastní spotřeba

Mezi příjmy můžeme zařadit také úspory, které vzniknou snížením spotřeby elektrické energie v důsledku využití energie z FV systému.

Vlastní spotřeba vyrobené energie při využití zeleného bonusu má velký vliv na návratnost celého systému. Z hlediska výroby a spotřeby je nutné brát v úvahu fakt, že v letních měsících svítí slunce denně více hodin než v zimních. Z této úvahy vyplývá, že v letních měsících budeme schopni k vlastní spotřebě objektu využít více vyrobené energie z FV systému.

Předpokládejme tedy, že v měsících od Dubna do Srpna budeme schopni 40 % spotřebované energie dodat z FV systému. V měsících Březen, Září a Říjen 30 % a od Listopadu do Února 20 %.

Pro stanovení průměrné měsíční spotřeby budeme vycházet z jednotlivých měsíčních spotřeb za posledních 5 let, které poskytl majitel domu.

Tab. 6-2 Vlastní spotřeba energie

Měsíc	Rozložení spotřeby v letech						K _{spotřeba} [-]	E _{spotřeba} [kWh]
	2008	2009	2010	2011	2012	Průměr		
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]		
Leden	250	244	241	237	211	236,6	0,2	47,3
Únor	227	219	230	194	176	209,2	0,2	41,8
Březen	253	229	223	193	160	211,6	0,3	63,5
Duben	213	211	202	167	195	197,6	0,4	79,0
Květen	232	213	196	153	180	194,8	0,4	77,9
Červen	212	206	204	150	159	186,2	0,4	74,5
Červenec	208	225	196	190	208	205,4	0,4	82,2
Srpen	206	210	204	153	160	186,6	0,4	74,6
Září	218	206	180	147	165	183,2	0,3	55,0
Říjen	224	231	193	161	167	195,2	0,3	58,6
Listopad	227	204	188	174	164	191,4	0,2	38,3
Prosinec	269	258	222	208	230	237,4	0,2	47,5
Celkem za rok						2435		740

Z uvedené tabulky vyplývá, že roční úspora objektu na elektrické energii bude 740 kWh. V úvahu bychom měli vzít také degradaci panelů způsobenou stářím, která nám bude postupně snižovat celkovou roční produkci energie. Jelikož celková roční produkce energie převyšuje více jak desetkrát očekávanou spotřebu, tak budeme i přes pokles vlivem degradace uvažovat úsporu energie a tedy využití energie z FV systému po celkovou dobu sledování návratnosti jako neměnnou.

Celkovou roční úsporu z vlastní spotřeby určíme z tarifního ceníku[22] tarifu, který provozovatel ve svém domě využívá. Jedná se o tarif D-standard – Comfort společnosti ČEZ Prodej, s.r.o. Použita je distribuční sazba D02d. Při využívání vlastní energie jsou nám ze strany obchodníka účtovány poplatky za systémové služby, podporu výkupu elektřiny z OZE a činnost zúčtování OTE.

Úspora nám vzniká z plateb za dopravu silové elektřiny, silovou elektřinu a daň z elektřiny. Celkově úspora činí 4 106 Kč/MWh. Přestože tarifní cena elektrické energie je pozměňována obvykle minimálně jednou ročně, budeme pro náš výpočet tuto cenu považovat jako neměnnou po celou dobu sledování návratnosti FV systému, tedy 20 let, a to z důvodu nesnadné předvídatelnosti cen elektrické energie. Celková roční úspora bude tedy 3 038 Kč.

6.3 Výkup přebytků

Poslední část příjmů bude tvořena prodejem nespotřebované elektrické energie neboli přebytky. V případě, kdy výrobce využívá podporu ve formě zeleného bonusu, může nabídnout přebytky libovolnému obchodníkovi s elektřinou, za cenu na které se dohodnou. Případně má nárok nabídnout prodej přebytků povinně vykupujícímu, ten je povinen výrobcu uhradit rozdíl mezi výkupní cenou a zeleným bonusem. Výkupní cena přebytků od povinně vykupujícího obchodníka pro letošní rok bude v obou přípojevacích obdobích (tj. od 1. 1. do 30. 6. a od 1. 7. do 31. 12.) stejná, rovna 550 Kč/MWh. Pro náš výpočet budeme brát v úvahu cenu, kterou máme garantovanu a to cenu povinně vykupujícího obchodníka.[21], [23]

6.4 Náklady na provoz, daně, zdravotní a sociální pojištění

Provozovatelem FV elektrárny bude fyzická osoba, podle zákona o daních z příjmu[24] je provozování FV elektrárny považováno jako příjem z podnikání a jiné samostatně výdělečné činnosti dle § 7. Provozovatel mimo příjmu z FVE bude mít také příjem ze závislé činnosti dle § 6. Příjem z FVE bude považován jako vedlejší činnost provozovatele.

Z příjmů dle § 7 je povinnost odvádět daň, která pro fyzické osoby činí 15 %. Daň se vypočte z daňového základu, který je dán rozdílem mezi příjmy a výdaji.

Pro příjmy z jiného podnikání podle zvláštních předpisů máme možnost pro výpočet daňového základu uplatnit paušální výdaje, které činí v tomto případě 40 %. Použitím paušálu můžeme očekávat dosažení nižšího daňového základu, než v případě, kdybychom uplatňovali náklady prokazatelně vynaložené na dosažení zisku. To je dáno tím, že by očekávané náklady vynaložené na dosažení zisku měly tvořit pouze certifikát pro elektronický podpis, nutný k fakturaci zeleného bonusu, který stojí 348 Kč ročně a dále revize výrobní jednou za tři roky 2 000 Kč. V průběhu provozu výrobní, zvláště po více letech provozu se mohou objevit neočekávané finančně náročné závady. Pro výpočet daňového základu tedy použijeme zmíněný paušál. Skutečné výdaje, o které se nám sníží zisk, budeme uvažovat 1 200 Kč. [24]

Provozovatel má povinnost z příjmů z FVE odvádět také sociální a zdravotní pojištění. Jak u sociálního, tak u zdravotního pojištění se rozlišuje, zda je příjem z FVE pro provozovatele hlavní nebo vedlejší činností. V našem případě, kdy provozovatel má příjem z FVE jako vedlejší činnost se zdravotní pojištění určí následovně:[25]

$$ZP = (\text{příjmy} - \text{výdaje}) \cdot 0,5 \cdot 0,35 \quad (\text{Kč; Kč, Kč}) \quad (6.1)$$

Výše sociálního pojištění se určí ze vzorce (6.2), v případě kdy základ daně je menší než 62.122 Kč (pro rok 2013) se sociální pojištění odvádět nemusí.[25]

$$SP = (\text{příjmy} - \text{výdaje}) \cdot 0,5 \cdot 0,292 \quad (\text{Kč; Kč, Kč}) \quad (6.2)$$

6.5 Ekonomické zhodnocení pomocí čisté současné hodnoty a prosté návratnosti

Celkové ekonomické zhodnocení investice určíme dvěma způsoby a to z čisté současné hodnoty projektu a prosté návratnosti. Zhodnocení provedeme pro dobu 20 let, kdy je nám garantován zelený bonus. Kompletní výpočet provedeme ve dvou variantách, první varianta je pro připojovací období od 1. 1. 2013 do 30. 6. 2013, druhá varianta od 1. 7. 2013 do 31. 12. 2013. Rozdíl vstupních parametrů mezi těmito variantami je pouze ve výši finanční podpory v rámci zeleného bonusu.

Ekonomickému zhodnocení musí předcházet několik předpokladů a výpočtů. Jak již bylo uvedeno výše, nejprve musíme brát v úvahu degradaci panelů, která je uvedena v katalogovém listu panelu[10]. Vliv degradace uvažujeme jako koeficient degradace, který nám sníží celkovou roční vyrobenou energii v daném roce oproti roku prvnímu. Celková roční vyrobená energie je tedy určena rovnicí:

$$E_{\text{celková}} = E_{\text{celková}}^1 \cdot K_{\text{degradace}} \quad (\text{kWh; kWh, -}) \quad (6.3)$$

Následně určíme nespotebvanou energii, která je zhodnocena formou výkupu přebytků. Množství této energie pro daný rok je dáno rozdílem množství celkové roční vyrobené energie v daném roce a množstvím energie, kterou využijeme k vlastní spotřebě, tj. 740 kWh.

Státem garantovaná podpora formou zeleného bonusu pro první rok výroby je uvedena v tabulce (Tab. 6-1), pro následující roky bude o 2 % navýšena oproti předchozímu roku. Výkupní cena přebytků je určena rozdílem výkupní ceny a zeleného bonusu pro daný rok, pro následující roky je opět uvažován rozdíl hodnot navýšených o 2 % oproti předcházejícímu roku.

Celkové příjmy podléhající zdanění jsou dány součtem příjmů ze zeleného bonusu a příjmů z prodeje přebytků. Jak bylo uvedeno výše, pro výpočet daňového základu je vhodnější použít 40% paušál. Z daňového základu si dle rovnice (6.1) určíme odvod na zdravotním pojištění.

S ohledem na výši daňového základu odvod na sociálním pojištění platit nemusíme. Daň z příjmů určíme následovně:

$$Daň_{15\%} = (P_{ZB} + P_{přebytky}) \cdot 0,6 \cdot 0,15 \quad (\text{Kč; Kč, Kč}) \quad (6.4)$$

Celkový zisk za daný rok, bez vlivu časové hodnoty peněz určíme dle rovnice (6.5) a je dán součtem všech příjmů, tedy i úspor vzniklých vlastní spotřebou energie 3 038 Kč/rok, sníženým o daň z příjmu, zdravotní pojištění a skutečné náklady 1 200 Kč/rok.

V tomto případě můžeme mluvit o celkovém zisku pouze vzhledem k danému roku, pokud uvažujeme celý investiční projekt, pak vzhledem k investičním nákladům mluvíme jako o příjmu. A skutečný zisk bude tvořen přebytky vzniklými, kdy kumulované příjmy budou převyšovat investiční náklady.[19]

$$Zisk = P_{ZB} + P_{přebytky} + P_{úspora} - Daň_{15\%} - ZP - Náklady \quad (\text{Kč}) \quad (6.5)$$

Pro výpočet prosté návratnosti určíme průměrnou hodnotu celkového ročního zisku. Ta je pro první variantu 18 747 Kč a pro druhou 16 301 Kč. Následně podělíme investiční náklady jednotlivými průměrnými ročními zisky, tímto podílem dostaneme prostou návratnost investice:[26]

$$PNI_{var1} = \frac{INV}{Zisk_{průměrný1}} = \frac{258702}{18747} = 13,8 \text{ let} \quad (6.6)$$

$$PNI_{var2} = \frac{INV}{Zisk_{průměrný2}} = \frac{258702}{16301} = 15,9 \text{ let} \quad (6.7)$$

Prostá návratnost investice je tedy pro první variantu 13,8 roku a pro druhou 15,9 roku.

Pro určení návratnosti s vlivem současné hodnoty si nejprve stanovíme současnou hodnotu zisku pro aktuální rok, určíme jej z rovnice (6.8), kde r je roční úroková míra, kterou jsme si stanovili jako 3% a j je aktuální rok.[19]

$$Zisk_{SH} = \frac{Zisk}{(1+r)^j} \quad (\text{Kč; Kč, -, -}) \quad (6.8)$$

Čistou současnou hodnotu, dostaneme započítáním investičních nákladů do současné hodnoty. Určíme ji z rovnice (6.9), kde INV jsou investiční náklady.[19]

$$\check{C}SH = -INV + \sum_{j=1}^n Zisk_{SHj} \quad (\text{Kč; Kč, Kč}) \quad (6.9)$$

Výpočet pro první variantu je uveden v tabulce (Tab. 6-3) a (Tab. 6-4). Návratnost investice s vlivem současné hodnoty nastane ve chvíli, kdy kumulované zisky s vlivem současné hodnoty vyrovnají investiční náklady. Tento okamžik nastane v první variantě v průběhu devatenáctého roku provozu. Čistá současná hodnota investice je po dvaceti letech 17 507 Kč.

Druhá varianta výpočtu je uvedena v tabulce (Tab. 6-5) a (Tab. 6-6). Vlivem nižší dotace zeleného bonusu nám nenastane návratnost v průběhu sledovaných dvaceti let. Čistá současná hodnota investice po dvaceti letech je -18 488 Kč.

Tab. 6-3 Výpočet návratnosti pro připojovací období od 1. 1. 2013 do 30. 6. 2013 – 1 část

Rok	$K_{\text{degradace}} [-]$	$E_{\text{celková}} [\text{MWh}]$	$E_{\text{přebytky}} [\text{MWh}]$	$C_{\text{ZB}} [\text{Kč/MWh}]$	$C_{\text{přebytky}} [\text{Kč/MWh}]$
1	1,000	6,92	6,18	2280	550
2	0,975	6,75	6,01	2326	561
3	0,967	6,69	5,95	2372	572
4	0,958	6,63	5,89	2420	584
5	0,950	6,57	5,83	2468	595
6	0,942	6,52	5,78	2517	607
7	0,933	6,46	5,72	2568	619
8	0,925	6,40	5,66	2619	632
9	0,917	6,34	5,60	2671	644
10	0,908	6,29	5,55	2725	657
11	0,900	6,23	5,49	2779	670
12	0,893	6,18	5,44	2835	684
13	0,887	6,14	5,40	2892	698
14	0,880	6,09	5,35	2949	711
15	0,873	6,04	5,30	3008	726
16	0,867	6,00	5,26	3069	740
17	0,860	5,95	5,21	3130	755
18	0,853	5,91	5,17	3193	770
19	0,847	5,86	5,12	3256	786
20	0,840	5,81	5,07	3322	801

Tab. 6-4 Výpočet návratnosti pro přípojovací období od 1. 1. 2013 do 30. 6. 2013 – 2 část

Rok	P _{ZB} [Kč]	P _{Přebytky} [Kč]	Daň _{15%} [Kč]	ZP [Kč]	Zisk [Kč]	Zisk _{SH} [Kč]	ČSH [Kč]
1	15778	3399	1726	2014	17276	16772	-241930
2	15691	3370	1715	2001	17182	16196	-225734
3	15868	3404	1734	2024	17353	15880	-209854
4	16046	3439	1754	2046	17523	15569	-194284
5	16224	3473	1773	2068	17695	15264	-179020
6	16404	3508	1792	2091	17867	14963	-164057
7	16584	3542	1811	2113	18040	14668	-149389
8	16764	3576	1831	2136	18213	14377	-135012
9	16945	3611	1850	2158	18386	14092	-120920
10	17127	3645	1870	2181	18560	13811	-107110
11	17310	3679	1889	2204	18735	13534	-93576
12	17525	3721	1912	2231	18942	13285	-80290
13	17742	3764	1936	2258	19151	13041	-67250
14	17961	3806	1959	2286	19361	12800	-54450
15	18181	3849	1983	2313	19573	12563	-41887
16	18403	3892	2007	2341	19786	12330	-29557
17	18627	3935	2031	2369	20001	12101	-17456
18	18852	3978	2055	2397	20217	11875	-5581
19	19079	4021	2079	2426	20434	11653	6072
20	19307	4065	2103	2454	20653	11435	17507

Tab. 6-5 Výpočet návratnosti pro přípojovací období od 1. 7. 2013 do 31. 12. 2013 – 1 část

Rok	K _{degradace} [-]	E _{celková} [MWh]	E _{přebytky} [MWh]	C _{ZB} [Kč/MWh]	C _{Přebytky} [Kč/MWh]
1	1,000	6,92	6,18	1880	550
2	0,975	6,75	6,01	1918	561
3	0,967	6,69	5,95	1956	572
4	0,958	6,63	5,89	1995	584
5	0,950	6,57	5,83	2035	595
6	0,942	6,52	5,78	2076	607
7	0,933	6,46	5,72	2117	619
8	0,925	6,40	5,66	2160	632
9	0,917	6,34	5,60	2203	644
10	0,908	6,29	5,55	2247	657
11	0,900	6,23	5,49	2292	670
12	0,893	6,18	5,44	2338	684
13	0,887	6,14	5,40	2384	698
14	0,880	6,09	5,35	2432	711
15	0,873	6,04	5,30	2481	726
16	0,867	6,00	5,26	2530	740
17	0,860	5,95	5,21	2581	755
18	0,853	5,91	5,17	2632	770
19	0,847	5,86	5,12	2685	786
20	0,840	5,81	5,07	2739	801

Tab. 6-6 Výpočet návratnosti pro připojovací období od 1. 7. 2013 do 31. 12. 2013 – 2 část

Rok	P _{ZB} [Kč]	P _{Přebytky} [Kč]	Daň _{15%} [Kč]	ZP [Kč]	Zisk [Kč]	Zisk _{SH} [Kč]	ČSH [Kč]
1	13010	3399	1477	1723	15047	14609	-244093
2	12938	3370	1468	1712	14966	14107	-229986
3	13084	3404	1484	1731	15112	13829	-216156
4	13231	3439	1500	1750	15257	13556	-202601
5	13378	3473	1517	1769	15404	13287	-189313
6	13526	3508	1533	1789	15550	13023	-176290
7	13674	3542	1549	1808	15698	12764	-163527
8	13823	3576	1566	1827	15845	12508	-151018
9	13973	3611	1583	1846	15993	12257	-138761
10	14122	3645	1599	1866	16141	12011	-126750
11	14273	3679	1616	1885	16290	11768	-114982
12	14450	3721	1635	1908	16467	11549	-103433
13	14629	3764	1655	1931	16645	11334	-92098
14	14810	3806	1675	1955	16824	11123	-80975
15	14992	3849	1696	1978	17005	10915	-70061
16	15175	3892	1716	2002	17187	10710	-59350
17	15359	3935	1736	2026	17370	10509	-48841
18	15545	3978	1757	2050	17554	10311	-38530
19	15732	4021	1778	2074	17740	10117	-28413
20	15920	4065	1799	2098	17926	9925	-18488

7 ZÁVĚR

Bakalářská práce pojednává o možnostech využití střešního fotovoltaického systému jako investičního projektu na území České republiky za současných legislativních podmínek. V úvodních částech jsou uvedeny obecné poznatky o využitelnosti slunečního záření, přehled současně dostupných i prozatím vyvíjených technologií využívaných ve fotovoltaice a také přehled střídačů a možných zapojení fotovoltaických systémů.

V rámci této práce byl proveden návrh střešního fotovoltaického systému pro rodinný dům situovaný ve Zlínském kraji, který můžeme považovat díky celkovému ročnímu ozáření, za vhodnější lokalitu v rámci České republiky. Na střechu zmíněného domu bylo v návrhu umístěno 28 panelů s celkovým instalovaným výkonem systému 7 kW_p. Kalkulací byly vyčísleny pořizovací náklady ve výši 258 702 Kč. Nákras střechy s rozmístěním jednotlivých panelů a elektrické schéma jsou uvedeny v přílohách (1,2).

V závislosti na geografické pozici domu, parametrech systému, ztrátách a dalších vlivech byly stanoveny produkce energie pro jednotlivé měsíce a celková roční produkce, která v prvním roku provozu bude činit 6920 kWh. Tato produkce bude s postupem let klesat vlivem stárnutí panelů. Po dvacátém roce provozu bude celková roční produkce pouze 5770 kWh.

Systém je navržen pro využití státní podpory formou zeleného bonusu, provozovatel bude tedy vyráběnou energii využívat pro svoji vlastní spotřebu. Celkové množství energie využívané pro vlastní spotřebu bylo stanoveno na 740 kWh za rok. Tato stanovená vlastní spotřeba je uvažována v průběhu let jako neměnná.

V rámci návrhu bylo provedeno ekonomické zhodnocení investice v závislosti na celkové roční produkci energie, vlastní spotřebě a současné legislativě. Zhodnocení bylo provedeno pro ve dvou variantách v závislosti na připojovacím období. U obou variant byl proveden výpočet prosté návratnosti investice a čisté současné hodnoty pro roční úrokovou míru 3 %.

První varianta je pro připojovací období od 1. 1. 2013 do 30. 6. 2013. U této varianty bude prostá návratnost investice 13,8 roku. Návratnost s vlivem současné hodnoty nastane v průběhu 19 roku. Čistá současná hodnota investice bude po uplynutí dvaceti let 17 507 Kč.

V rámci druhé varianty pro připojovací období od 1. 7. 2013 do 31. 12. 2013 je prostá návratnost investice stanovena na 15,9 roku. Návratnost s vlivem současné hodnoty v průběhu sledovaných dvaceti let nenastane. Čistá současná hodnota investice bude po uplynutí dvaceti let -18 488 Kč.

Celkový zisk z investice může být pro obě varianty výrazně vyšší v závislosti na době životnosti systému. Uvedené doby návratnosti a zisky jsou platné pro současně znění legislativy a současnou cenu elektrické energie tarifu, který využívá provozovatel. V závislosti na změně cen tarifu, výši vlastní spotřeby, případně změně legislativy se doba návratnosti a zisk může výrazně změnit.

Z uvedených variant díky vyšší zisku a době návratnosti je vhodnější první varianta, s připojením výroby do 30. 6. 2013. Vzhledem k poznatku že s vlivem současné hodnoty dosáhneme zisku u první varianty téměř ke konci období, po které máme garantovaný zelený bonus a v druhém případě nedosáhneme zisku v průběhu garance vůbec, můžeme stanovit závěr, že investice do střešního fotovoltaického systému za současných podmínek a legislativy

z hlediska zhodnocení finančních prostředků není nejvhodnějším záměrem. Pravděpodobněji vhodnějším investičním záměrem by byl střešní systém s instalovaným výkonem do 5 kW, kde bychom získali větší podporu v rámci zeleného bonusu.

Výrazné snížení doby návratnosti by bylo možné dosáhnout regulací odběrů elektrické energie energeticky náročnějších spotřebičů.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] KRIEG, Bernhard. *Elektrina ze Slunce: fotovoltaika v teorii a praxi*. 1. vyd. Ostrava: HEL, 1993, 223 s.
- [2] MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 254 s. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [3] MATOUŠEK, Antonín. *Ekologie v elektroenergetice*. Vyd. 1. Brno: VUT FEKT, 2004, 94 s. ISBN 80-214-2538-5.
- [4] MATOUŠEK, Antonín. *Výroba elektrické energie*. Vyd. 1. Brno: VUT FEKT, 2007, 139 s. ISBN 978-80-214-3317-5.
- [5] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. *Fotovoltaika, elektrina ze slunce*. 1. vyd. Brno: ERA, 2007, vii, 81 s. ISBN 978-80-7366-100-7.
- [6] Solární elektrárny » Intenzita slunečního záření. SILELEKTRO ENERGY. [online]. [cit. 2012-12-14]. Dostupné z: <http://www.silekro.cz/solarni-elektrarny/intenzita-slunecniho-zareni-35>
- [7] Šuri M., Huld T.A., Dunlop E.D. Ossenbrink H.A., Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries, 2007, Solar Energy, 81, 1295 1305 – <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- [8] Výroba fotovoltaického článku. *Fotovoltaika* [online]. [cit. 2012-12-14]. Dostupné z: <http://fotovoltaika.falconis.cz/fotovoltaika/vyroba.php>
- [9] ERU. Pravidla pro paralelní provoz zdrojů: Příloha 4. In: *Pravidla provozování distribučních soustav*. 2011. Dostupné z: http://www.eon-distribuce.cz/file/cs/electricity/regulations/PPDS_Dodatek_4_2011.pdf
- [10] RENESOLA. *Datasheet Virtus II Module*. 2 s. Dostupné z: www.renesola.com/File/download/id/611?t=en
- [11] SMA SOLAR TECHNOLOGY. *Datasheet SUNNY TRIPOWER*. 4 s. Dostupné z: <http://files.sma.de/dl/17781/STP9000TL-DCZ131415w.pdf>
- [12] Elektroinstalatér: Výběr SPD pro fotovoltaické systémy. *Elektroinstalatér: Obnovitelné zdroje energie*. Praha: ČNTL, 2010, roč. 2010, č. 3, s. 30-31. DOI: 1211-2291.
- [13] SALTEK. *Datasheet SLP-PV500 V/U*. 1 s. Dostupné z: http://www.saltek.eu/cz/files/vyrobky/SLP-PV500%20V_U.pdf
- [14] SALTEK. *Datasheet SLP-PV700 V/Y*. 1 s. Dostupné z: http://www.saltek.eu/cz/files/vyrobky/SLP-PV700%20V_Y.pdf
- [15] OEZ. *Pojistkové vložky pro jištění polovodičů do 900 V d.c.* 2 s. Dostupné z: http://www.oez.cz/uploads/download/aktuality/OEZ_Jisteni_fotovoltaickych_systemu.pdf
- [16] DRAKA. *Kabely pro fotovoltaické aplikace*. 12 s. Dostupné z: http://www.oez.cz/uploads/download/aktuality/OEZhttp://www.draka.cz/images/stories/katalog/fotovolaticke/fotovoltaicke_final.pdf
- [17] DRAKA. *Silové kabely a vodiče*. 136 s. Dostupné z: http://www.draka.cz/images/stories/katalog/silove_kabely/1-silove-cz-web.pdf

- [18] JOINT RESEARCH CENTRE. *Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps* [online]. [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- [19] BOHANESOVÁ, Eva. *Finanční matematika I*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 2006, 117 s. ISBN 80-244-1294-2.
- [20] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. *Inflace - druhy, definice, tabulky* [online]. [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/mira_inflace
- [21] ERU. Energetický regulační větník: Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu. In: Jihlava, 2012, roč. 12, 8/2012. Dostupné z: http://www.eru.cz/user_data/files/ERV/ERV8_2012.pdf
- [22] ČEZ PRODEJ, s.r.o. *Tarifní ceník D-standart* [online]. [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/pro-zakazniky/elektrina/ceny/2013/domacnost/comfort/d-standard.html>
- [23] Česká republika. 165/2012: Zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2012, 59. Dostupné z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=6184>
- [24] Česká republika. 586/1992: Zákon o daních z příjmu. In: *Sbírka zákonů České a slovenské federativní republiky*. 1992, 117. Dostupné z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=2640>
- [25] SOLARENVI. *Zdravotní a sociální pojištění při provozování FVE* [online]. [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: <http://www.solarenavi.cz/slunecni-elektrarny/legislativa/zdravotni-a-socialni-pojisteni-pri-provozovani-fve/>
- [26] EKOWATT. *Ekonomika* [online]. [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: <http://hestia.energetika.cz/encyklopedie/14.htm>