

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra technologií a měření**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Komplexní návrh fotovoltaické elektrárny**

**vedoucí práce: Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
autor: Tomáš Cajthaml**

**2012**

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

**Fakulta elektrotechnická**

**Akademický rok: 2011/2012**

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

**(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)**

Jméno a příjmení: **Tomáš CAJTHAML**  
Osobní číslo: **E09B0112P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Název tématu: **Komplexní návrh fotovoltaické elektrárny**  
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

### **Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :**

Proveďte komplexní návrh realizace fotovoltaické elektrárny.

1. Popište souhrnně principy a vlastnosti FV elektráren.
  2. Uveďte současné alternativy možných technických řešení FV elektráren.
  3. Rekapitulujte aktuální nutné legislativní kroky spojené s realizací FV elektrárny v ČR.
  4. Navrhněte technické parametry, konstrukční detaily, volbu a vlastnosti použitých komponent pro konkrétní realizaci FV elektrárny.
-

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Henze, Andreas; Hillebrand, Werner.: Elektrický proud ze slunce
2. Krieg, Bernhard. Elektřina ze Slunce : Fotovoltaika v teorii a praxi
3. Libra, Poulek.: Solární energie


Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.**  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **17. října 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2012**

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Vlastimil Škočil, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

## **Anotace**

Předkládaná bakalářská práce popisuje principy a vlastnosti fotovoltaických elektráren a možnosti jejich technického řešení. Následně popisuje komplexní návrh fotovoltaické elektrárny.

## **Klíčová slova**

Fotovoltaická elektrárna, fotovoltaický článek, fotovoltaický panel, Fotovoltaický jev, PN-přechod, střídač napětí, rozvaděč, transformátor

## **Abstract**

The present thesis describes the principles and properties of photovoltaic power and possibilities of their technical solution. Subsequently, it describes a comprehensive the proposal of photovoltaic power plant.

## **Key words**

Photovoltaic power, photovoltaic cell, photovoltaic panel, photovoltaic effect, PN-transition, inverter voltage, switchboards, transformer

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 4.6.2012

Jméno příjmení

.....

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Karlu Noháčovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>11</b>
<b>2 SLUNCE</b> .....	<b>12</b>
2.1 VYUŽITÍ SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ .....	13
2.2 PODMÍNKY V ČR .....	14
<b>3 FOTOVOLTAICKÝ JEV</b> .....	<b>15</b>
<b>4 SOLÁRNÍ ČLÁNKY</b> .....	<b>17</b>
4.1 PRINCIP.....	17
4.2 GENERACE FOTOFOLTAJICKÝCH ČLÁNKŮ .....	18
4.3 NEJVÍCE POUŽÍVANÉ TYPY ČLÁNKŮ .....	19
4.3.1 <i>Křemík</i> .....	19
4.3.2 <i>Polykrystalické články</i> .....	19
4.3.3 <i>Monokrystalické články</i> .....	19
4.3.4 <i>Amorfni články</i> .....	20
4.4 MOŽNOSTI ZVÝŠENÍ ÚČINNOSTI FOTOVOLTAJICKÉHO ČLÁNKU .....	20
4.4.1 <i>Antireflexní vrstva</i> .....	20
4.4.2 <i>Natáčení panelů za sluncem</i> .....	20
4.4.3 <i>Oboustranné moduly</i> .....	21
4.4.4 <i>Koncentrátory energie</i> .....	21
4.5 SKLÁDÁNÍ ČLÁNKŮ.....	22
<b>5 SOLÁRNÍ PANEL</b> .....	<b>22</b>
5.1 PROPOJOVÁNÍ SOLÁRNÍCH PANELŮ .....	23
<b>6 FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY</b> .....	<b>24</b>
6.1 DROBNÉ APLIKACE .....	24
6.2 OSTROVNÍ SYSTÉM .....	24
6.2.1 <i>Off-grid s přímým napájením</i> .....	24
6.2.2 <i>Off-grid s akumulací energie</i> .....	24
6.2.3 <i>Hybridní ostrovní systém</i> .....	25
6.3 SYSTÉM PŘÍMO PŘIPOJENÝ K SÍTI .....	25
<b>7 MĚNIČE (STRÍDAČE) NAPĚTÍ</b> .....	<b>26</b>
<b>8 LEGISLATIVA</b> .....	<b>27</b>
8.1 ZÁKLADNÍ LEGISLATIVNÍ RÁMEC V ČR .....	27
8.1.1 <i>Zákon číslo 180/2005 Sb.</i> .....	27
8.1.2 <i>Vyhláška č. 475/2005</i> .....	28
8.2 LEGISLATIVNÍ KROKY SPOJENÉ S VÝSTAVBOU NOVÉ FV ELEKTRÁRNY .....	28
8.2.1 <i>Žádost o připojení</i> .....	28
8.2.2 <i>Stavební úřad</i> .....	28
8.2.3 <i>Revize</i> .....	29
8.2.4 <i>Žádost o licenci</i> .....	29
8.2.5 <i>Uzavření smlouvy s distribuční společností</i> .....	29



<b>9</b>	<b>NÁVRH FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY .....</b>	<b>30</b>
9.1	LOKALITA .....	30
9.2	VOLBA ZÁKLADNÍCH KOMPONENTŮ .....	31
9.2.1	Výběr fotovoltaických panelů .....	31
9.2.2	Výběr střídačů (měničů) .....	34
9.2.3	Výběr kabelů .....	34
9.2.4	Rozvaděč .....	35
9.2.5	Transformátor .....	35
9.3	NOSNÁ KONSTRUKCE .....	36
9.4	SBĚRNÁ STANICE .....	36
9.5	UZEMNĚNÍ .....	37
9.6	POPIS NÁVRHU FVE .....	37
9.6.1	Kompenzační rozvaděč .....	39
9.6.2	Rozvaděč vlastní spotřeby výroby .....	40
9.6.3	Stanoviště transformátoru .....	40
9.6.4	Rozvaděč VN a připojení na DS .....	40
9.7	ZÁVĚREČNÉ VÝPOČTY .....	41
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>43</b>
	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>45</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>48</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>48</b>

# 1 Úvod

Jako téma své bakalářské práce jsem si zvolil komplexní návrh fotovoltaické elektrárny. Důvodem, proč jsem si toto téma vybral, je to, že sluneční energie má v budoucnu velký potenciál.

Populace na planetě neustále a nezadržitelně roste. Tudíž je stále větší počet odběratelů elektrické energie. Dalším faktorem zvyšující se spotřeby elektrické energie je zvyšující se životní úroveň a také nárůst množství spotřebované elektřiny na jednoho člověka. Lidé si často ani neuvědomují, jak jsou na elektrické energii závislí. Přičemž například v České republice je téměř 70% elektrické energie vyprodukováno tepelnými elektrárnami, kde dochází ke spalování fosilních paliv. Zásoba těchto zdrojů není ale neomezená a postupně se tenčí. Zraky odborníků se proto začínají obracet k obnovitelným zdrojům energie. Tyto alternativy mají navíc jen minimální dopad na životní prostředí. Mezi ně patří i využití energie slunečního záření. Tato energie je dostupná v různé účinnosti téměř kdekoliv. Provoz takovýchto elektráren je nenáročný, ekologický a tichý. Bohužel jsou zde dva problémy, které je třeba v budoucnu potlačit, a to účinnost elektrárny a uskladnění energie při malé spotřebě. Lze ale předpokládat neustálý rozvoj fotovoltaiky.

Tato bakalářská práce se bude zabývat problematikou slunečních elektráren. V teoretické části se zabývá vlastnostmi slunce a přeměnou jeho záření na elektrickou energii, také zde budou popsány různé základní typy elektráren a jejich různá provedení. V praktické části se bude zabývat legislativními kroky spojenými s realizací fotovoltaické elektrárny v České republice a vlastním návrhem fotovoltaické elektrárny.

## Seznam symbolů a zkratk

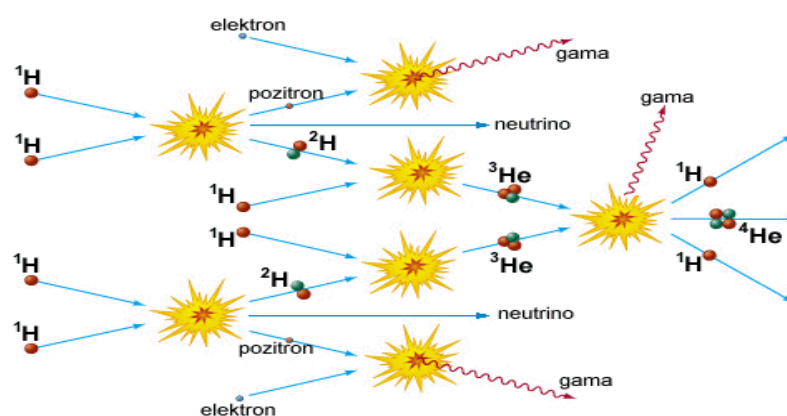
Si	křemík
As	arsen
P	fosfor
Sb	antimon
B	bor
In	indium
Ga	galium
Al	hliník
FV	fotovoltaický
FVE	fotovoltaická elektrárna
DC	stejnoseměrný napětí
AC	střídavé napětí
NN	nízké napětí
VN	vysoké napětí
PPDS	podmínky připojení do distribuční sítě
SF <sub>6</sub>	fluorid sírový

## 2 Slunce

Slunce je středem naší sluneční soustavy a její jediná hvězda, tvoří 99% její hmotnosti. Slunce vzniklo před více než 4,5 miliardami let a předpokládá se, že bude zářit ještě dalších 7 miliard let. Je nejdůležitějším a téměř jediným zdrojem energie na naší Zemi, bez kterého by neexistoval život. Průměr Slunce činí 1 400 000 km a jeho teplota v jádru dosahuje teploty  $1,5 \cdot 10^7$  K, při tlaku přibližně  $20 \cdot 10^{10}$  MPa. [3, 7]

Slunce je tvořeno ze tří čtvrtin vodíkem a zbylá jedna čtvrtina je tvořena převážně heliem a ostatními stopovými prvky. Právě vodík je zdrojem neustálé energie, kterou Slunce vydává. Ta vzniká při termonukleárních reakcích v jádru. Termonukleární reakce probíhá ve třech fázích.

1. V první fázi se dvě vodíková jádra slučují na deuterium za vzniku pozitronu a neutrina.
2. Při druhé se jádro deuteria slučuje s jádrem vodíku, vzniká izotop helia a uvolní se energie ve formě záření gama.
3. Ve třetí fázi sloučením dvou jader izotopu helia vznikne jádro helia, dvě jádra vodíku a opět se uvolní energie.



Obr. 1 - Reakce ve Slunci, zdroj [6]

Při těchto reakcích se tak každou sekundu přemění 700 milionů tun vodíku na 695 milionů tun helia a zbylých 5 milionů tun je přeměněno na energii. Tu tvoří z 96% elektromagnetické záření a 4% odnášejí elektronová neutrina. Tato energie ve formě záření se podle odhadů nedostane na povrch Slunce dřív jak za 17 tisíc let. Je totiž cestou neustále

absorbována a znovu vyzařována za nižších teplot. Cesta od povrchu na Zem mu pak trvá pouze 8,31 minut při rychlosti  $3 \times 10^8$  m/s. [3, 6, 7]

Sálavý (zářivý) výkon Slunce je asi  $3,87 \cdot 10^{23}$  kW, z čehož na Zemi dopadá  $173 \cdot 10^{12}$  kW. Na každý čtvereční metr na hranici zemské atmosféry dosahuje intenzita zářivé energie průměrně 1367 W. Této hodnotě se říká solární konstanta. Průchodem atmosférou se část energie odráží zpět do vesmírného prostoru, část se pohltí a rozptýlí. Zbývající část dopadá na zemský povrch a je jím pohlcena nebo odrážena. Bilance je přibližně takováto: 26 % se od atmosféry a mraků odráží do vesmíru, 19 % je atmosférou pohlceno a zahřívá ji, 51 % dopadá na povrch Země a je jím pohlceno, 4 % se odráží od zemského povrchu do atmosféry. [6]

## 2.1 Využití slunečního záření

Po průchodu zemskou atmosférou dopadá na povrch záření o maximální intenzitě  $1000 \text{ W/m}^2$ . Tuto energii lze využít dvěma různými způsoby. První z nich je pro výrobu tepla. To se provádí pomocí slunečních kolektorů. Tento způsob je relativně jednoduchý a například i zahradní skleník by se dal považovat za jednoduchou aplikaci. Principiálně to funguje tak, že plochý solární kolektor absorbuje sluneční energii a převádí ji na teplo o hodnotě do  $100^\circ\text{C}$ . Díky tomu jsou vhodné pro ohřev užitkové vody, vyhřívání bazénů, vytápění budov, atd. [2, 3, 11]

Pomocí ohniskového absorbéru lze docílit ale i daleko vyšších teplot. Tyto teploty dosahují hodnot, až 4000 K. Jde o podobnou konstrukci jako u anténních parabol. Zrcadlo nebo soustava zrcadel tvoří parabolu, která směřuje sluneční záření do jednoho ohniska.



V ohnisku nemusí být umístěn pouze absorbér, ale energie může být dodávána do Stierlingova motoru. Ten mění tepelnou energii na mechanickou a pohání generátor elektrické energie. Jedná se tak o jednu ze solárních elektráren, kde probíhá nepřímá přeměna z energie záření na elektrickou energii. [8, 11]

Obr. 2 - Solární pec Odeillo ve Francii, zdroj [48]

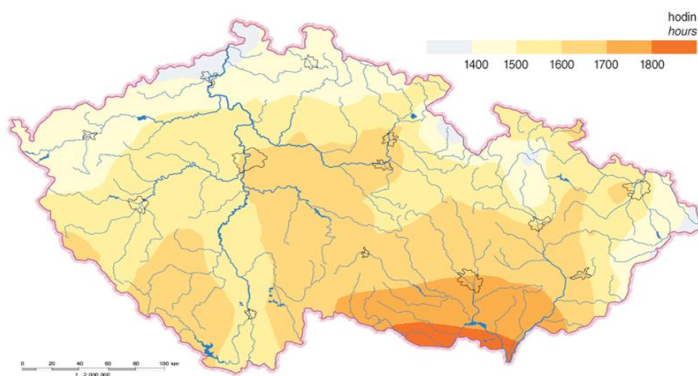
Dalším takovým typem jsou komínové elektrárny. U této elektrárny se ohřívá vzduch pod skleněnou plochou. Tento vzduch má poté nižší hustotu, a proto stoupá komínem vzhůru, kde roztáčí lopatky turbíny a produkuje elektrický proud. Účinnost této elektrárny není příliš vysoká a závisí na výšce komínu. [11]

Posledním typem slunečních elektráren, kde je využito nepřímé přeměny, jsou věžové elektrárny. Tato elektrárna využívá velkého množství otočných zrcadel, která směřují sluneční záření na vrchol věže. Zde se vlivem vysoké teploty vypařuje voda a vzniklá pára pohání turbínu. Tento cyklus se jmenuje Rankieův-Clausiův. [3, 8, 11]

Druhý způsob využití sluneční energie je její přímá přeměna na energii elektrickou. Tento způsob využívá fotoelektrického jevu. Pro přeměnu energie se zde využívá fotofoltaických článků. Právě tímto způsobem se bude dále tato bakalářská práce zabývat.

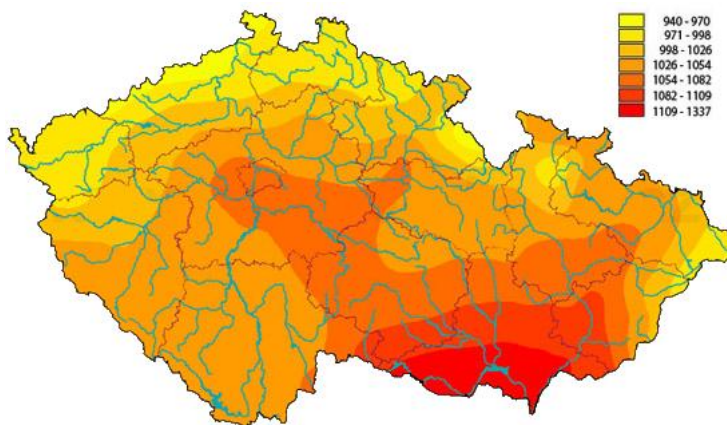
## 2.2 Podmínky v ČR

Celkový roční úhrn dopadající sluneční energie ovlivňuje zejména zeměpisná poloha, orientace fotovoltaického systému vzhledem ke Slunci, celková doba slunečního svitu, nadmořská výška a v neposlední řadě i čistota ovzduší.



Obr. 3 - Mapa trvání slunečního svitu v ČR, zdroj [12]

Podmínky pro využití sluneční energie jsou na území České republiky poměrně dobré. Celková doba slunečního svitu (bez oblačnosti) je od 1 400 do 1 700 hodin za rok.



Obr. 4 - Úhrn globálního slunečního záření v ČR [W/m<sup>2</sup>], zdroj [12]

Vhodnost lokality pro využití sluneční energie však nejlépe vystihuje mapa globálního slunečního záření, která vychází z dlouhodobých meteorologických měření. V podmínkách České republiky dopadne na jeden m<sup>2</sup> zhruba 950 – 1340 kWh sluneční energie, z čehož největší část (asi 75%) v letním období.

Údaj o ročním úhrnu globálního slunečního záření je velmi důležitý pro výpočty budoucí energetické bilance fotovoltaického systému, a tedy i návratnosti investice. Známe-li, kolik slunečního záření ročně dopadne na 1 m<sup>2</sup> fotovoltaického systému, a konverzní účinnost fotovoltaického panelu, která je přibližně 14%, dostaneme z této plochy asi 133 – 188 kWh elektrické energie za rok. [12]

### 3 Fotovoltaický jev

Základem fotovoltaického jevu je PN-přechod. Tento přechod vzniká při vzájemném spojení dvou různě dotovaných polovodičů (polovodič typu P a N). Dotování se provádí troj nebo pětimocnými prvky, které se přidávají do vlastního polovodiče, to je většinou křemík nebo germanium. Dotování ovlivňuje velice silně výslednou vodivost polovodiče. Například můžeme dotovat jedním atomem příměsí na 10<sup>6</sup> atomů křemíku. Při pokojové teplotě je v 1 mm<sup>3</sup> Si 10<sup>16</sup> nosičů náboje, vlivem dotace může jejich koncentrace narůst až na 10<sup>18</sup> – 10<sup>22</sup>/mm<sup>3</sup>. [10, 14, 15]

Nevlastní polovodiče typu P se dotují prvky V. skupiny periodické tabulky (As, P, Sb). Tyto příměsi se nazývají donory a mají pět elektronů ve valenčním pásu. Zatímco křemík má tyto elektrony pouze 4, po zakomponování donoru do krystalové mřížky Si vzniká jeden volný elektron. Ten krouží kolem donoru, ke kterému je pouze slabě vázán, a stačí jen poměrně malá energie, aby byl od atomu odtržen. Tím se vytvoří záporný nosič.

Všechny uvolněné elektrony tvoří majoritní nosiče. Koncentrace děr je zde velmi malá a tvoří tak minoritní nosiče náboje. [3, 10, 15]

Polovodiče typu P se naopak dotují prvky III. skupiny periodické tabulky (B, In, Ga, Al) a říká se jim akceptory. Mají pouze 3 elektrony ve valenčním pásu. Po zadotování do čtyřmocného křemíku vzniká jedna volná díra. Ta se může volně v polovodiči pohybovat a vzniká tak děrová vodivost. V polovodiči typu P jsou díry majoritními nosiči náboje, zatímco elektrony jsou nosiči minoritními. [3, 10, 15]

Pokud tyto dva typy polovodičů spojíme, vzniká PN-přechod neboli hraniční vrstva s důležitými vlastnostmi. V obou materiálech je různá koncentrace nosičů. Vlivem rozdílného gradientu koncentrací vzniká difuzní proud. Volné nosiče se pohybují ve směru klesající koncentrace. Volné elektrony v oblasti styku přecházejí do polovodiče typu P a díry naopak přecházejí do N. Tyto nosiče v oblasti přechodu rekombinují (vzniká pár elektron - díra). Na hranici přechodu vzniká vyčerpaná oblast, která je ochuzená o volné nosiče proudu, a proto bude mít větší odpor. Mezi oběma polovodiči vznikne takzvaná potenciálová bariéra, která má za důsledek, že majoritní nosiče jedné vrstvy nemohou přecházet do vrstvy druhé, ale minoritní nosiče přecházet mohou. [3, 10, 15]

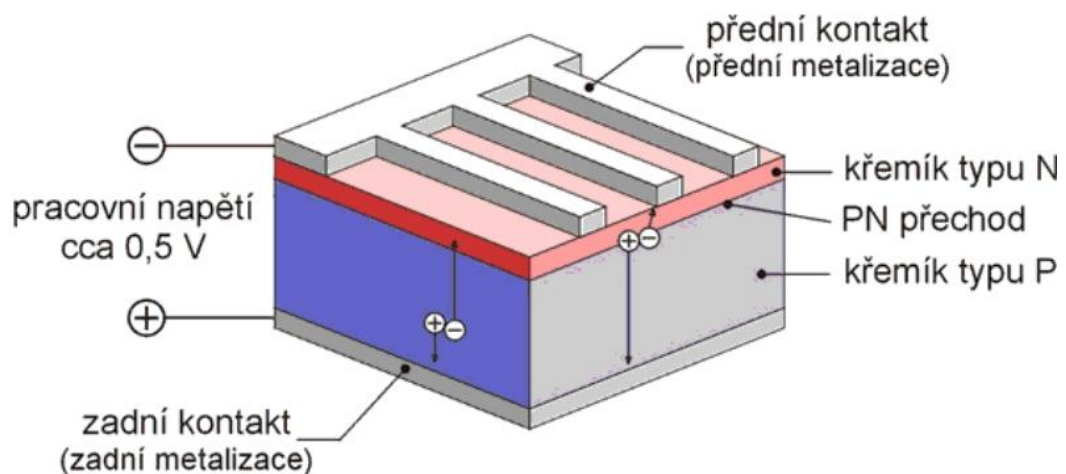
Za těchto okolností nejde o zdroj proudu. Dopadá-li ale na PN-přechod světelné záření a energie fotonu je větší než energie zakázaného pásu, bude elektron excitován energií fotonu a dojde ke vzniku páru elektron-díra. V oblasti přechodu na ně působí potenciálová bariéra a zapříčiní jejich roztržení. Elektrony přecházejí na stranu polovodiče N a díry naopak do P. Tím se snižuje potenciálová bariéra. Snížení bariéry je závislé na velikosti dopadajícího záření. Při osvětlení tak v propustném směru, kdy P je kladné a N záporné, mezi přívody vzniká elektrické napětí. [4, 13, 15]



## 4 Solární články

### 4.1 Princip

U fotovoltaické elektrárny se využívá přímé přeměny světelné energie, která dopadá na povrch fotovoltaického (solárního) článku. Tento článek je v podstatě velkoplošná fotodioda alespoň s jedním PN přechodem, pracující ve čtvrtém kvadrantu voltampérové charakteristiky. Základem je tedy PN přechod. Ten je vytvořen většinou z krystalického křemíku, do kterého jsou dodány příměsi bóru. Takto vznikne strana P. Ta je zezdola opatřena kontaktem, který je tvořen vodivou mřížkou. Na horní straně se difuzí fosforu vytvoří velmi úzká vrstvička polovodiče typu N. Sítotiskem jsou zde provedeny vodivé kontakty. [2, 13, 16]



Obr. 5 - Fotovoltaický článek, zdroj [11]

Fotony dopadající na povrch fotočlánku dodávají potřebnou energii elektronům, tvořící krystalovou mřížku křemíku. Elektrony se díky tomu uvolňují z této mřížky a mohou přecházet na vyšší energetickou hladinu. Díky vytvořenému PN přechodu se elektrony nemohou polovodičem volně pohybovat a nedochází k jejich rekombinaci. Elektrony vytvořené v polovodiči typu N, který tvoří horní vrstvu článku, se nedostanou přes PN přechod do vrstvy P, ale opačně se elektrony pohybovat mohou. Elektrony se proto v horní vrstvě neustále hromadí a tím vzniká elektrický potenciál. Ten se projeví elektrickým napětím mezi horní a dolní vrstvou o velikosti kolem 0,5 V. [3, 15, 16]

## 4.2 Generace fotofoltajických článků

Články tvořené z desek krystalického křemíku jsou považovány za první generaci. Tato generace zastupuje asi 95% z celkové výroby FV článků. Dosahují poměrně vysoké účinnosti téměř 20%, ale pro jejich náročnou výrobu jsou drahé. Hlavní jejich nevýhodou je ale vysoká spotřeba čistého křemíku pro jejich výrobu.

Zmenšení potřeby drahého vstupního materiálu bylo impulzem pro vývoj druhé generace článků. Tyto články jsou vyrobené z polykrystalického, amorfního nebo mikrokrystalického křemíku. Jsou založené na tenkých vrstvách. Tudiž dochází k velké úspoře materiálu. Začínají se zde používat i jiné materiály než křemík. Dosahovaná účinnost však klesá pod 10%. Proto jejich produkce není příliš vysoká. Jejich nespornou výhodou je ale jejich malá tloušťka, ohebnost a pružnost. [17, 18]

Třetí generace článků je zatím spíše jen otázkou momentálního směru vývoje. Ve finální fázi by měly články třetí generace překročit Shockley-Queisserovu hranici omezující účinnost. Toto omezení znamená, že jeden foton vytváří jeden exciton a přebytečná energie se mění na teplo.

Směry vývoje, kterým je věnována pozornost.

- tandemové tenkovrstvé články
- články s vícenásobnými pásy
- články, které by využívaly "horké" nosiče náboje pro generaci více párů elektronů a děr
- termofotonická přeměna, kde absorbér je nahrazen elektroluminiscencí
- články využívají kvantových jevů v kvantových tečkách nebo kvantových jamách
- prostorově strukturované články vznikající samoorganizací při růstu aktivní vrstvy
- organické články

Zatím jediným prakticky využitelným způsobem jsou tandemové články a články s vícenásobnými pásy, u kterých každá vrstva dokáže zachytit světlo o určitém rozsahu

vlnových délek, ale jejich účinnost ještě není tak vysoká. Organické články sice nedosahují vysoké účinnosti, avšak jejich výhodou by měla být možnost levné výroby.

K prolomení Shockley-Queisserovy hranice by měl výrazně dopomoci nový objev násobení náboje v polovodičových nanokrystalech. V systému CdS nebo CdSe bylo pozorováno, že z jednoho fotonu vznikalo až 7 excitonů. Není zatím jisté, že tento objev bude možné využít pro FV přeměnu. [18]

### 4.3 Nejvíce používané typy článků

#### 4.3.1 Křemík

Křemík je nejpoužívanějším prvkem pro fotovoltaiku. Přibližně 90% článků na trhu je právě z něho. Nezachycuje sice celé viditelné spektrum. Maximální vlnová délka, kterou zachytí je 1,1  $\mu\text{m}$ . Jeho výhodou je, že většina polovodičový součástek je právě z křemíku. Proto je poměrně dobře zvládnutá technologie jeho výroby. Je i dobře dostupný. Velkou nevýhodou, která zvyšuje cenu křemíku, je požadavek na jeho vysokou čistotu. Pro fotovoltaiku dosahuje čistoty 99,999%. [15]

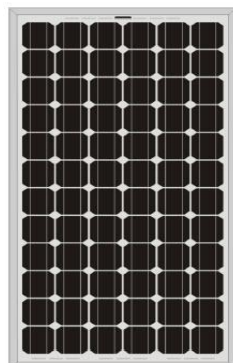
#### 4.3.2 Polykrystalické články



Tyto články se vyrábí odléváním čistého křemíku a následným stříháním. Skládají se z menších polykrystalů. Hlavní výhodou těchto článků i přes jejich horší elektrické vlastnosti je jejich relativně nízká cena a dají se vyrábět ve větších rozměrech a to i obdélníkové a čtvercové. Jejich účinnost na trhu dosahuje 12 – 15%. [19, 20]

Obr. 6 - Polykrystalický článek, zdroj [45]

#### 4.3.3 Monokrystalické články



Monokrystalické články jsou nejvíce rozšířené v našich zeměpisných podmínkách. Krystaly křemíku se vyrábí z velmi čistého roztaveného křemíku a jejich velikost přesahuje 10 cm. Takto upravené se potom rozřežou na tenké plátky. Těto metodě výroby se říká Czochralského. Účinnost těchto článků se pohybuje v rozmezí 13 až 20%. [4, 20]

Obr. 7 - Monokrystalický článek, zdroj [45]

#### 4.3.4 Amorfni články

Amorfni články mají jednu velkou hlavní výhodu. Ke své výrobě potřebují mnohem méně křemíku než předešlé dva typy. Při velkosériové výrobě jsou proto levnější. Vyrábí se pomocí rozkladu sloučenin křemíku (silanu nebo dichlorsilanu) ve vodíkové atmosféře. Tímto procesem se vytvoří velmi tenké vrstvy křemíku. Mají ovšem větší absorpci slunečního záření, proto mohou být tak tenké – už vrstva o tloušťce 1 mm pohltí 90% slunečního záření. Tyto vrstvy se nanášejí na skleněné, nerezové nebo plastové podložky a jsou amorfni. To znamená, že nemají pravidelnou krystalickou strukturu. Ve výsledku takto získáme velmi tenký a ohebný fotovoltaický článek. Vzhledem k nepravidelnosti struktury zde bohužel dochází k velkému množství poruch. Tyto poruchy snižují proud a účinnost článku, ta dosahuje pouze 7-9%. Pokud ale vezmeme v potaz jejich velice nízkou cenu, vyjde nám výsledná výkonnost 10 krát větší než u krystalického křemíku. Tento typ se proto hodí na místech, kde nejsme limitováni prostorem. Tento typ článku má také modifikovaný p-n přechod – horní vrstva (s vodivostí p) je velmi tenká a zachytí jen málo fotonů, pod ní je další tenká vrstva (je nedopovaná a označuje se jako vrstva i), v níž dochází k pohlcení většiny dopadajícího slunečního záření a vytvoření volných elektronů a děr. [4, 20]

#### 4.4 Možnosti zvýšení účinnosti fotovoltaického článku

Existuje několik způsobů zvýšení účinnosti fotovoltaického článku. Funkci mají ale všechny podobnou. Snaží se zvýšit množství dopadajícího světla do oblasti PN – přechodu.

##### 4.4.1 Antireflexní vrstva

Křemík použitý pro fotovoltaiku má poměrně velký index lomu. Z toho důvodu se od něj odráží více jak 30% dopadajícího záření. Antireflexní vrstva se snaží index lomu snížit tím, že za pomoci leptání zdrsňuje povrch článku. Tato vrstva pak článku pomáhá ve dvou fázích. V první zjednodušuje vstup fotonů do článku a ve druhé znesnadňuje výstup nevyužitých fotonů ven. [4]

##### 4.4.2 Natáčení panelů za sluncem

Přináší výrazné zvýšení denní produkce energie. Jsou konstruovány tak, že se v průběhu dne natáčejí za sluncem, aby na ně paprsky dopadaly co nejdéle dobu pod optimálním úhlem.

Mohou být dvojího typu:

Jednoosé – mají pouze jednu osu rotace. Osa rotace může být polární, to znamená shodná s osou rotace Země, a dále horizontální, nebo vertikální.

Dvouosé – využívají kombinace dvou os rotace. [4, 19]



Obr. 8 - Jednoosé natáčení panelů, zdroj [46]

#### 4.4.3 Oboustranné moduly

Tento způsob využívá speciálních oboustranných modulů, které pracují se světlem dopadajícím z obou stran. Dopadá na ně tedy i záření odražené od povrchu, na kterém jsou nainstalovány. Zvýšení účinnosti je na schopnosti odrazu tohoto povrchu velmi závislé. [4]

#### 4.4.4 Koncentrátory energie

Koncentrátory sbírají sluneční záření z velké plochy, které pak směřují na povrch článku. Tím se zvyšuje jeho výkon. U koncentrátorů se proto musí využívat pouze vysoce kvalitních článků, aby se vlivem velkého množství dopadající energie příliš nezkracovala jejich životnost. Aby se dosáhlo vysokého stupně koncentrace je nutné tento systém kombinovat s otáčením kolektorů za sluncem. Máme dva hlavní typy koncentrátorů.

Koncentrátory s rovinným zrcadlem – vyrábí se hlavně díky jejich snadné konstrukci, ale jejich míra koncentrace je poměrně malá.

Koncentrátory s parabolickým zrcadlem – zde dochází k vysoké koncentraci, ale je nutné využití otáčení za sluncem a chlazení článků. [4]





Obr. 9 - Experimentální koncentrátor energie, zdroj [47]

#### 4.5 Skládání článků

Sériovým nebo i paralelním elektrickým propojením solárních článků vzniká po jejich zapouzdření fotovoltaický panel. Pro fotovoltaické elektrárny připojené přímo do distribuční sítě články skládáme do série, abychom dosáhli vyššího využitelného napětí. Při použití modulu s 36 články získáme na výstupu 18 V, nebo se používají moduly se 72 články, které pak dosahují napětí 36 V. Při paralelním spojení článků se zvyšuje výstupní proud. [2, 4]

### 5 Solární panel

Články ve fotovoltaickém panelu jsou hermeticky uzavřené. Panel musí také zajišťovat odolnost před okolním prostředím a to nejen před povětrnostními vlivy, ale i před dalšími vlivy, při kterých by mohlo dojít k poškrábání jednotlivých článků. Těmto vlivům nejčastěji podléhá čelní strana FV panelu. Ta je z toho důvodu krytá EVA fólií (ethylen vinyl acetát) a speciálním kaleným sklem. EVA fólie je organický materiál, u kterého může u nich vlivem silného UV záření docházet ke snížení optické transparentnosti. To přináší i menší hodnotu výstupního výkonu. Optické vlastnosti kaleného skla jsou velmi stálé a k jejich snížení může dojít pouze znečištěním povrchu. Kalené sklo navíc dokáže odolávat i velmi silnému krupobití. Celý tento komplet je pak vsazen do duralového rámu.

Ten zajišťuje zpevnění celé konstrukce a zároveň zjednodušuje následné montování ke konstrukci FV systému. Struktura panelů tenkovrstvých solárních článků je poněkud odlišná od konstrukce modulů z krystalických křemíkových článků. Je to dáno zejména zcela odlišnou technologií výroby, kdy celá aktivní struktura je deponována plazmaticky v jednotlivých krocích na skleněný velkoplošný substrát. [3, 16]

## 5.1 Propojování solárních panelů

Propojením jednotlivých solárních panelů již získáváme základ fotovoltaické elektrárny. Spojovat by se měly jen solární články jednoho výrobce. Ten určuje i kolik jich můžeme propojit pro zachování definovaných vlastností. Jednotlivé solární panely mohou být propojeny podobně jako jednotlivé články. Sériové zapojení zvyšuje celkové napětí při zachování stejného výstupního proudu jednotlivých panelů. Využívá se tam, kde se elektrická energie dodává přímo do sítě a zvyšuje celkové výstupní napětí. Naopak paralelní zapojení zvyšuje celkový proud při stejném jmenovitém napětí. Proto je vhodné tam, kde se vyrobená energie nedodává do sítě a je využita pro místní spotřebu. Zde je zapotřebí akumulovat energii v akumulátorech s napětím 12 nebo 24 V. U solárních elektráren můžeme uplatňovat i kombinaci obou zapojení pro získání potřebného výstupního proudu a napětí.

U sériového zapojení existuje z hlediska produkce elektrické energie jeden problém. V případě, že jsou všechny články zapojené do série optimálně osvětlené nebo je procento osvětlení stejné, je výstupní proud roven proudu jednotlivých panelů. V případě rozdílného osvětlení zde platí známé úsloví, „Řetěz je stejně silný jako jeho nejslabší článek“. V tomto případě to je tak, že výstupní proud je roven proudu na nejméně ozářeném prvku. To v nejhorším případě může znamenat, že při úplném zastínění jednoho panelu v zapojení do série. Nepoteče na konci žádný proud a nebude zde žádný výkon, i když by ostatní panely byly optimálně osvětlené. [21]

## 6 Fotovoltaické systémy

### 6.1 Drobné aplikace

Jedná se o články malých rozměrů, které se používají v případech, kde není potřeba na výstupu velkých výkonů. Nejznámějšími zástupci této kategorie jsou solární články umístěné v kalkulačkách. Nyní ale tyto aplikace nabývají na významu jako okamžité dobíječe akumulátorů bez přístupu k elektrické síti. To je využitelné jak pro přenosné výrobky jako jsou mobilní telefony, fotoaparáty a notebooky, ale například i pro dobíjení akumulátoru u automobilů nebo pro napájení různých informačních tabulí atd. [16, 22]

### 6.2 Ostrovní systém

Ostrovní systém neboli off-grid nabývá na významu v místech, kde není dostupná rozvodná síť nebo není možné se k ní připojit. Bývá proto využíván na odlehlých chatách, karavanech, přívěsech, hausbótech nebo jachtách. I na těchto místech chceme používat elektrické přístroje. Řešením takové situace může být fotovoltaický systém odpovídajícího výkonu. Takový systém se vyplatí v případě, že by bylo nutné vybudovat elektrickou přípojku od 500 metrů a více nebo elektrická přípojka nejde zřídit vůbec (například na jachtě). U ostrovního systému máme dvě možnosti, jak pracovat s výstupním proudem. Jednou z nich je využití napěťového měniče pro přetransformování stejnosměrného proudu na střídavý. Tyto měniče nejsou právě levné. Nebo budeme volit spotřebiče, které fungují na stejnosměrný proud. Takových spotřebičů je dnes už celá řada.

Ostrovní systémy lze dále dělit do dalších tří skupin.

#### 6.2.1 Off-grid s přímým napájením

V tomto případě je solární panel připojen přes regulátor napětí přímo ke spotřebiči. Nevyužívá se zde akumulátorů energie. Je využit tam, kde je elektrická energie potřebná jen po dobu dostatečné intenzity slunečního záření (nabíjení akumulátorů malých přístrojů, čerpání vody pro závlahu, pro přípravu teplé užitkové vody, napájení ventilátorů k odvětrání uzavřených prostor atd.).

#### 6.2.2 Off-grid s akumulací energie

Tento systém se od přímého napájení liší tím, že zde probíhá akumulace energie do baterií. Tyto baterie jsou konstruované pro pomalé nabíjení i vybíjení a uchovává se v nich elektřina pro dobu, kdy není intenzita slunečního záření dostačující. Dobíjení a vybíjení je



řízeno pomocí regulátoru. Takové systémy nacházejí uplatnění u zahradního osvětlení, campingu, jachtingu, monitorovacích přístrojů v terénu atd.

### 6.2.3 Hybridní ostrovní systém

Hybridní systém se využívá ve dvou případech. Buď tam, kde je nutné zajistit celoroční provoz, nebo tam, kde je občas nutné zapojit spotřebič s velkým příkonem. Pokud by v těchto případech byla dodávka elektrické energie pouze na fotovoltaické elektrárně, musel by být instalovaný podstatně větší výkon. To by se ovšem z ekonomického hlediska příliš prodražilo. V těchto případech je výhodnější fotovoltaickou elektrárnu doplnit přídatným zdrojem energie. Tento zdroj spíná v případě nedostatku energie. Pro tyto účely se využívají větrné elektrárny, malé vodní elektrárny, elektrocentrály, kogenerační jednotky apod. [16, 22]

## 6.3 Systém přímo připojený k síti

Jsou uplatňovány v oblastech, kde je možnost připojení k distribuční síti. Takto fungující elektrárna dodává elektrickou energii dvěma způsoby. Pokud je to soukromá elektrárna připojená k nějakému objektu (domu, továrně, apod.), tak vyprodukovanou energii dodává do spotřebičů v objektu. Zde můžou nastat tři stavy. Elektrárna vyprodukuje pouze to, co je rovnou spotřebováno. To je ovšem málo pravděpodobné. V dalším případě elektrárna vyprodukuje více, než je možné spotřebovat. V tom případě je přebytek dodáván do elektrické rozvodné sítě. Naopak při nedostatku elektřiny se z elektrické rozvodné sítě odebírá. Tento systém funguje zcela automaticky. Druhý způsob nejvíce využívaný právě pro velké sluneční elektrárny (fungují tak i malé domácí nebo firemní elektrárny) spočívá v tom, že všechna elektrická energie vyprodukovaná elektrárnou je dodávána do rozvodné sítě. Výkupní ceny jsou uvedeny v nejnovějším ceníku ze dne 23.11.2011, který je vyvěšen na stránkách Energetického regulačního úřadu. Pro elektrárnu do 30kW je výkupní cena 6,16 Kč/kWh a pro elektrárnu nad 30kW do 100kW je výkupní cena 6,02 Kč/kWh.

Základními prvky on-grid FV systémů jsou:

- fotovoltaické panely
- měnič napětí (střídač), který ze stejnosměrného napětí vyrábí střídavé
- kabeláž

- měření vyrobené elektrické energie (elektroměr)
- popř. sledovač Slunce, indikační a měřící přístrojů [16]

## 7 Měníče (střídače) napětí

Toto zařízení má ve fotovoltaických elektrárnách důležitou funkci. Fotovoltaické panely vyprodukují stejnosměrný proud. Ten není vhodný pro přenos v rozvodné síti a většina prodávaných domácích spotřebičů je také pouze na střídavý proud. Proto využijeme měniče napětí, který přeměňuje stejnosměrný proud vycházející z FV panelů na proud střídavý. Účinnost dnešních měničů již ve většině případů přesahuje 90% a nejvýkonnější střídače dosahují až 97%. [1, 2]

Podle tvaru vyprodukovaného napětí můžeme střídače dělit do tří skupin na obdélníkové, lichoběžníkové a sinusové. Dnes se setkáme už téměř jen s posledními dvěma typy.

Lichoběžníkový střídač vyrábí odstupňované obdélníkové napětí, jehož tvar se podobá sinusovému. Lichoběžníkový tvar ovšem obsahuje velké množství vyšších harmonických. Ty ruší provoz některých spotřebičů. Přesto se u ostrovních systémů doposud používá, protože dosahuje velké účinnosti při relativně nižší ceně.

Sinusové střídače vyrábí sinusové výstupní napětí. To je z elektronického hlediska složitější, a proto i nákladnější. Výstupní sinusový proud ovšem neobsahuje téměř žádné vyšší harmonické.

Střídače pro systém grid – on jsou speciálně navrženy pro paralelní připojení k již existující síti. Tento střídač obsahuje systém, který neustále sleduje dění v síti ke které je připojen. Při výpadku proudu nebo odpojení sítě musí ihned ukončit napájení sítě. U velkých elektráren se rozlišují tři koncepce použití střídačů.

Modulový střídač – každý panel je vybaven svým vlastním střídačem.

Řetězový střídač – u velkých elektráren je zapojeno několik panelů do série. Na konci tohoto řetězce se umístí střídač.

Centrální střídač – do tohoto střídače je vedeno několik paralelně propojených řetězců.

[2]

## 8 Legislativa

### 8.1 Základní legislativní rámec v ČR

Zákon č. 458/2000 Sb. energetický zákon

Zákon č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů

Vyhláška č. 475/2005 Sb. vyhláška o podpoře využívání obnovitelných zdrojů

Vyhláška č. 364/2007 Sb. novela vyhlášky č. 475/2005

Vyhláška č. 150/2007 Sb. o způsobu regulace cen v energetických odvětvích

Vyhláška č. 51/2006 Sb. o podmínkách připojení k elektrizační soustavě [24, 26]

#### 8.1.1 Zákon číslo 180/2005 Sb.

Zákon byl přijat 3.3.2005 a v platnosti je od 1.8.2005. Zprostředkovává implementaci Směrnice 2001/77/EC do českého právního řádu. Zákon by měl stabilizovat podnikatelské prostředí a přilákat nové potenciální investory. Byl prvním svého druhu v zemích střední a východní Evropy a mnohými považován za jeden z nejmodernějších. [25, 27]

Účelem tohoto zákona je v zájmu ochrany klimatu a ochrany životního prostředí podpořit využití obnovitelných zdrojů energie, zajistit trvalé zvyšování podílu obnovitelných zdrojů na spotřebě primárních energetických zdrojů, přispět k šetrnému využívání přírodních zdrojů a k trvale udržitelnému rozvoji společnosti. Dalším úkolem tohoto zákona bylo vytvořit podmínky pro naplnění indikativního cíle podílu elektřiny z obnovitelných zdrojů na hrubé spotřebě elektřiny v České republice ve výši 8 % k roku 2010 a vytvořit také podmínky pro další zvyšování po roce 2010. [25, 27]

Ze zákona 180/2005 Sb. vyplývá povinnost provozovatele distribuční sítě nový fotovoltaický systém přednostně připojit a veškerou vyprodukovanou elektřinu od něj vykoupit za ceny stanovené Energetickým regulačním úřadem podle ceníku na daný rok. Momentálně ale v České republice panuje takzvaný „Stop-stav“ pro připojování nových fotovoltaických elektráren. Toto opatření bylo zavedeno z důvodů obav z tzv. „blackoutu“, tj. kolapsu energetické sítě po fotovoltaickém boomu, který na našem území proběhl před několika lety. Proto jsou nyní připojovány jen malé elektrárny instalované na střeše domu, jejichž výkon nepřesahuje 30 kW. [25]

### **8.1.2 Vyhláška č. 475/2005**

Je sekundární legislativou k zákonu č. 180/2005 Sb. a jejím cílem mělo být upřesnění některých ustanovení tohoto zákona. Vyhláška mimo jiné také obsahuje hodnoty technických a ekonomických parametrů, které by měly zaručit návratnost investice. Předpokladem pro zajištění patnáctileté doby návratnosti investic při uplatnění podpory výkupními cenami za elektřinu vyrobenou z obnovitelných zdrojů je splnění hodnot technických a ekonomických parametrů výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů, při nichž výrobce elektřiny z obnovitelných zdrojů za stanovených výkupních cen dosáhne. [27]

Vyhláška 475/2005 Sb. byla novelizována vyhláškou č. 364/2007 Sb. Novelizace vyhlášky přináší změnu indikativních hodnot technických a ekonomických parametrů, především ve smyslu předpokládané životnosti fotovoltaické elektrárny, která se z původních 15 let zvyšuje na 20 let. [25]

## **8.2 Legislativní kroky spojené s výstavbou nové FV elektrárny**

### **8.2.1 Žádost o připojení**

Před zahájením realizace elektrárny je třeba požádat distribuční společnost (E-ON, ČEZ, PRE) o vyjádření k možnosti připojení elektrárny do sítě. Dříve byly distribuční společnosti povinné fotovoltaické elektrárny připojit. To dnes již díky výše zmíněnému „Stop-stavu“ neplatí. [23]

### **8.2.2 Stavební úřad**

Na stavebním úřadě se předkládá projekt FV elektrárny před jeho realizací. Projekt musí být řádně připraven a na jeho vyřízení má stavební úřad zákonnou lhůtu. Pokud se jedná o zařízení pro výrobu el. energie instalované do střešního pláště, pokud nedochází ke zvýšení ani rozšíření stavby je možno považovat za stavební úpravu, která nevyžaduje podle § 81 odst. 3 písm. a) stavebního zákona územní rozhodnutí ani územní souhlas. Ve vazbě na ustanovení § 103 odst. 1 písm. h) stavebního zákona vyžadují ohlášení stavebnímu úřadu nebo stavební povolení. Stavební povolení může být nahrazeno veřejnoprávní smlouvou nebo certifikátem autorizovaného inspektora. Zařízení pro výrobu el. energie instalované na pozemku § 103 odst. 1 písm. b) bod 4 stavebního zákona vyžaduje územní rozhodnutí nebo za podmínek § 96 stavebního zákona územní souhlas a

stavební povolení. Pokud jsou všechny náležitosti spojené se stavebním úřadem kladně vyřízeny, může se započít s vlastní stavbou elektrárny. [23, 28]

### 8.2.3 Revize

Po dokončení vlastní stavby je nutno provést na nově vzniklé elektrárně revizi. Na elektrárně je nejprve provedena výchozí revize a poté se provádí po určitých obdobích pravidelné revize. [23]

### 8.2.4 Žádost o licenci

Sluneční elektrárna je výrobní elektrická energie a v případě, že chce tuto výrobu její provozovatel připojit na distribuční síť, stává se na základě licence podnikatelem v oboru energetiky. Na velikosti fotovoltaického systému nezáleží. Jakmile chce provozovatel prodávat energii do sítě, získávat zelené bonusy nebo výkupní ceny, musí se stát podnikatelem, aby mohl výše zmíněné částky fakturovat provozovateli distribuční sítě. Licenci vydává Energetický regulační úřad. U systémů do 20kW není nutná žádná odborná kvalifikace pro získání licence, nad 20kW je třeba mít požadované vzdělání a praxi v oboru. Licence je obdobou živnostenského listu, dokonce má i podobnou grafickou úpravu, jenom s tím rozdílem, že licence je oprávnění podnikat v energetice podle energetického zákona a živnostenský list je oprávnění podnikat podle živnostenského zákona. [26]

### 8.2.5 Uzavření smlouvy s distribuční společností

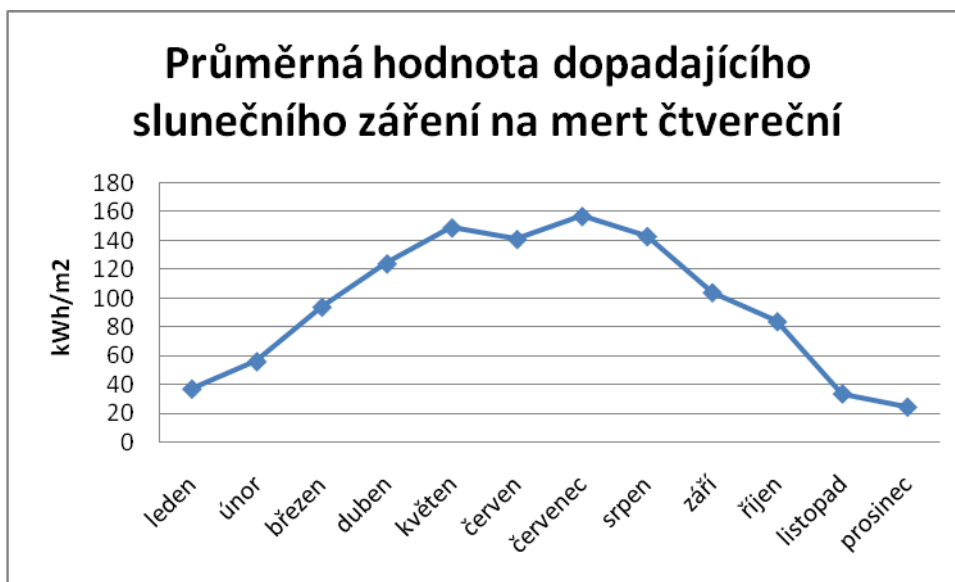
K uzavření smlouvy o připojení výrobní elektrárny k distribuční síti se předkládá revizní zpráva FV elektrárny, revizní zpráva přípojky, kopie licence, jednopólové schéma elektrárny od zdroje k předávacímu místu včetně nastavení ochran, protokol o nastavení síťových ochran, cejch elektroměru, doklad o zaplacení připojovacího poplatku. Po oboustranném podpisu této smlouvy je realizace elektrárny dokončena a elektrárna může dodávat elektrickou energii do sítě. [23]

## 9 Návrh fotovoltaické elektrárny

### 9.1 Lokalita

Umístění elektrárny je na okraji obce Zaječov. Jedná se o část louky mezi kamenolomem a vojenským újezdem Brdy. Od kamenolomu je prostor chráněn malým kopcem, přes který se nepřevaluje prach a tím by byla elektrárna chráněna. Tento kopec je situován severozápadně od elektrárny a je v takové vzdálenosti, že elektrárnu zastíňuje jen ve večerních hodinách při západu slunce. V těchto hodinách už je ovšem intenzita slunečního záření velice slabá. Na východ od elektrárny se nachází jehličnatý les. Ten je ale v takové vzdálenosti že, elektrárnu nikterak neomezuje. Z nejdůležitější jižní strany je průzor slunce na panely zcela odkrytý. Výměra pozemku pouze pod panelovým polem je o velikosti 95,8 x 166,2 m. Terén v tomto prostoru je zcela rovný až na některá mírná povrchová zvlnění, která se při stavbě konstrukce vyrovnají. Okolo panelového pole je potřeba nechat ještě pěti metrové ochranné pásmo a na severní straně ještě prostor pro budovu se sběrnou stanicí.

Ideální sklon panelů v tomto místě je 33° a natočení o -2° od jihu. Odhadované ztráty způsobené teplotou v dané oblasti jsou 7,4%. Další odhadované ztráty jsou vzhledem k odrazivosti 3%. Průměrná hodnota dopadajícího záření na metr čtvereční, které by za rok dopadlo na plochu modulů je 1150 kWh/m<sup>2</sup>. [29]



Obr. 10 - Graf průměrné hodnoty dopadajícího záření v dané lokalitě, zdroj [29]

## 9.2 Volba základních komponentů

### 9.2.1 Výběr fotovoltaických panelů

V první řadě byl proveden průzkum trhu s fotovoltaickými panely. Tento trh je velmi rozmanitý a v dnešní době je na něm hned několik výrobců. V následujících tabulkách je uvedeno několik panelů střední velikosti od vybraných výrobců. Údaje v tabulkách jsou použity z internetových obchodů <http://eshop.alter-eko.cz>, <http://www.fotovoltaicke-elektrarny.cz>, <http://www.energyforever.cz>, <http://www.solar-liglass.cz>, <http://www.ilv-solar.cz> a <http://www.ecomont.cz> ke dni 22.4.2012.

#### 9.2.1.1 Polykrystalické panely

Schott SCHOTT230POLY	
Jmenovitý výkon	230 Wp
Napětí v bodě max. výkonu	30,0 V
Proud v bodě max. výkonu	7,66 A
Napětí na prázdko	36,9 V
Zkratový proud	8,33 A
Rozměry (DxŠxV)	1685x993x50mm
konektory	TYCO
Cena	19733 Kč

Suntech STP280-24/Vd	
Jmenovitý výkon	280 Wp
Napětí v bodě max. výkonu	35,2 V
Proud v bodě max. výkonu	7,95 A
Napětí na prázdko	44,8 V
Zkratový proud	8,33 A
Rozměry (DxŠxV)	1956x992x50mm
Konektory	Huber+Suhner
Cena	19202 Kč

Rec REC AE 215	
Jmenovitý výkon	215 Wp
Napětí v bodě max. výkonu	28,3 V
Proud v bodě max. výkonu	7,6 A
Napětí na prázdko	36,3 V
Zkratový proud	8,1 A
Rozměry (DxŠxV)	1665x991x43mm
konektory	MC 4
Cena	16966 Kč

Mage Solar Poly Powertec Plus 230/6 PE	
Jmenovitý výkon	230 Wp
Napětí v bodě max. výkonu	30,15 V
Proud v bodě max. výkonu	7,64 A
Napětí na prázdko	35,8 V
Zkratový proud	8,25 A
Rozměry (DxŠxV)	1640x992x45mm
Konektory	MC 4
Cena	15300 Kč

Yingli YL 235PT - 29b	
Jmenovitý výkon	230 Wp
Napětí v bodě max. výkonu	29,5 V
Proud v bodě max. výkonu	7,8 A
Napětí na prázdko	37 V
Zkratový proud	8,4 A
Rozměry (DxŠxV)	1650x990x50mm
konektory	MC 4
Cena	13800 Kč

Kyocera KD 235 GH 2PB	
Jmenovitý výkon	235 Wp
Napětí v bodě max. výkonu	29,8 V
Proud v bodě max. výkonu	7,89 A
Napětí na prázdko	36,9 V
Zkratový proud	8,55 A
Rozměry (DxŠxV)	1662x990x46mm
Konektory	MC 3
Cena	13989,60 Kč

REC 230 PE		Trina TSM 230 PC 05	
Jmenovitý výkon	230 Wp	Jmenovitý výkon	230 Wp
Napětí v bodě max. výkonu	29,4 V	Napětí v bodě max. výkonu	29,8 V
Proud v bodě max. výkonu	7,8 A	Proud v bodě max. výkonu	7,72 A
Napětí na prázdko	37,1 V	Napětí na prázdko	37 V
Zkratový proud	8,3 A	Zkratový proud	8,26 A
Rozměry (DxŠxV)	1665x991x38mm	Rozměry (DxŠxV)	1650x992x46mm
konektory	MC 4	Konektory	MC 4
Cena	16296 Kč	Cena	14628 Kč

Sovello SV - T - 200		Yingli YL230	
Jmenovitý výkon	200 Wp	Jmenovitý výkon	230 Wp
Napětí v bodě max. výkonu	26,7 V	Napětí v bodě max. výkonu	30 V
Proud v bodě max. výkonu	7,12 A	Proud v bodě max. výkonu	7,4 A
Napětí na prázdko	32,8 V	Napětí na prázdko	36,6 V
Zkratový proud	8,05 A	Zkratový proud	8,1 A
Rozměry (DxŠxV)	1571x911x41mm	Rozměry (DxŠxV)	1650x990x50mm
konektory	MC 4	Konektory	MC3
Cena	14148 Kč	Cena	15948 Kč

### 9.2.1.2 Monokrystalické panely

Schott SCHOTT220POLY		Suntech STP240-24/Wd	
Jmenovitý výkon	220 Wp	Jmenovitý výkon	240 Wp
Napětí v bodě max. výkonu	29,7 V	Napětí v bodě max. výkonu	30,0 V
Proud v bodě max. výkonu	7,41 A	Proud v bodě max. výkonu	7,84 A
Napětí na prázdko	36,5 V	Napětí na prázdko	37,0 V
Zkratový proud	8,15 A	Zkratový proud	8,35 A
Rozměry (DxŠxV)	1685x993x50mm	Rozměry (DxŠxV)	1665x991x50mm
konektory	TYCO	Konektory	MC 4
Cena	17866 Kč	Cena	16459 Kč

Phonosolar PS240M		Suntech STP240S-24/Wd	
Jmenovitý výkon	240 Wp	Jmenovitý výkon	240Wp
Napětí v bodě max. výkonu	30 V	Napětí v bodě max. výkonu	30,0 V
Proud v bodě max. výkonu	8 A	Proud v bodě max. výkonu	7,84 A
Napětí na prázdko	37,6 V	Napětí na prázdko	37,0 V
Zkratový proud	8,45 A	Zkratový proud	8,35 A
Rozměry (DxŠxV)	1640x992x35mm	Rozměry (DxŠxV)	1665x991x50mm
konektory	MC3	Konektory	MC 4
Cena	16908 Kč	Cena	16459 Kč



SUN OWE - 230		Rich Solar RS-M180	
Jmenovitý výkon	230 Wp	Jmenovitý výkon	180 Wp
Napětí v bodě max. výkonu	29,50 V	Napětí v bodě max. výkonu	44,20 V
Proud v bodě max. výkonu	7,97 A	Proud v bodě max. výkonu	4,95 A
Napětí na prázdko	36,50 V	Napětí na prázdko	36,40 V
Zkratový proud	8,47 A	Zkratový proud	5,28 A
Rozměry (DxŠxV)	1650×992×50mm	Rozměry (DxŠxV)	1580x808x45mm
konektory	H&S	Konektory	MC 4
Cena	12463 Kč	Cena	12300 Kč

Phonosolar PS230M		Suntech STP205S-24/Ade	
Jmenovitý výkon	230 Wp	Jmenovitý výkon	205Wp
Napětí v bodě max. výkonu	29,6 V	Napětí v bodě max. výkonu	38,1 V
Proud v bodě max. výkonu	7,78 A	Proud v bodě max. výkonu	5,38 A
Napětí na prázdko	37,3 V	Napětí na prázdko	45,8 V
Zkratový proud	8,25 A	Zkratový proud	5,73 A
Rozměry (DxŠxV)	1640x992x35mm	Rozměry (DxŠxV)	1580x808x35mm
konektory	MC3	Konektory	Huber+Suhner
Cena	16176 Kč	Cena	16018 Kč

Výběr panelů je velice důležitý proces, protože se jedná o největší investici v rámci nové FVE. Ohled se tu bere hlavně na dva ukazatele: celkový špičkový výkon a cena. V našich zeměpisných podmínkách mají vyšší účinnost panely monokrystalické, protože pohlcují i difuzní záření. Zde mají nejvyšší výkon panely Phonosolar PS240M a Suntech STP240S-24/Wd, které mají špičkový výkon 240 W<sub>p</sub>. Cena se ovšem pohybuje přes 16

tisíc Kč téměř 17 tisíc Kč. Proti tomu polykrystalické panely Kyocera KD 235 GH 2PB mají sice výkon 235 W<sub>p</sub> ale cena je jen málo pod 14 tisíci Kč. Rozdíl na panelu je tedy téměř 2000 Kč. To je v celkovém počtu 4608 panelů rozdíl cca. 9216000 korun. Pro panely Kyocera hovoří i to, že mají výrobní závod v České republice a tudíž dostupný servis. Elektrárna proto bude proto využívat právě tyto panely.



Obr. 11 - Panel Kyocera KD 235 GH 2PB

### 9.2.2 Výběr střídačů (měničů)

Výběr vhodného rozvaděče podléhá výběru panelu a způsobu zapojení jednotlivých panelů. Každý měnič má totiž výrobcem udané hodnoty mezní hodnoty pro vstup. Těmito hodnotami jsou maximální výkon, maximální DC napětí, rozsah DC napětí, jmenovité DC napětí, maximální proud na jeden připojený string. Dalším důležitým údajem pro výběr měniče je jeho účinnost. Ta se v maximálních hodnotách pohybuje od 95% a až přes 98%. Od vstupních hodnot a účinnosti se potom odvíjejí výstupní hodnoty. Vzhledem k velkému počtu parametrů, které ovlivňují výběr měniče, máme na výběr z velkého počtu měničů od velkého počtu výrobců. Mezi nejvíce zastoupené patří střídače od firem SMA, Fronius, Kostal a Power one. V našem případě vyšel jako nejlépe vyhovující tří fázový střídač od firmy SMA Sunny Tripower 15000TL. Maximální DC výkon (při  $\cos \varphi=1$ ) se rovná 15340 W a námi připojený výkon na střídač je 15040 Wp. Účinnost tohoto střídače je velmi vysoká 98,2%. [30]

SMA Sunny Tripower 15000TL	
vstup (DC)	
Max. DC výkon	15 340 W
Max. DC napětí	1000 V
Spouštěcí napětí	188 V
Rozsah napětí MPP	360 – 800 V
Výstup (AC)	
Jmenovitý AC výkon (při 230V a 50Hz)	15000 W
Max. zdánlivý výkon	15000 VA
Jmenovité AC napětí	230/400 V
Síťová frekvence	50 Hz, +5Hz,-6Hz
Max. Výstupní proud	24 A
Účinník ( $\cos \phi$ )	0,8 přeuzený, 0,8 podbuzený
Účinnost	98,20%
Vlastní spotřeba	1 W

Tab. 1 - Specifikace střídače Sunny Tripower 15000TL, zdroj [30]

### 9.2.3 Výběr kabelů

Pro propojení jednotlivých panelů do série a připojení do střídače na straně DC přes rozvaděč použijeme kabely DRAKA SUNflex PV1-F 1,8 kV/DC. Ty jsou vyráběny přímo

pro fotovoltaické systémy. Kabel tvoří lanové měděné jádro, které je na povrchu pocínované. Izolační vrstva a plášť je z bezhalogenového, nízkodýmivého a oheň retardujícího materiálu. Kabel je dále odolný proti vnějším vlivům včetně UV záření a působení ozónu. Průměr jádra je 3mm a odpor činí 3,23  $\Omega$ /km při teplotě 20°C. [31]

Jako kabel, který bude realizovat cestu mezi měničem a hlavním rozvaděčem na straně NN jsem vybral kabel DARAKA CYKY 5 x 10. Tento kabel je také odolný proti všem vnějším vlivům. Proudová zatížitelnost je 45 A ve vzduchu a 69 A v zemi. Činný odpor jádra má hodnotu 1,83  $\Omega$ /km při teplotě 20°C. [32]

#### 9.2.4 Rozvaděč

Rozvaděče jsou umístěné na DC straně před měniči. Jejich hlavní funkcí je pospojování jednotlivých řetězců panelů a ochrana drahých měničů proti atmosférickým výbojům. Jištění je zajištěno přepětovými ochranami zapojenými proti zemi. Zde je maximální výbojový proud 40kA a jmenovitý výbojový proud 20 kA. Na rozvaděče lze připojit 5 stringů a odpojit jde každý zvlášť nebo všechny najednou. Díky skříni, která má krytí IP-54, jde používat ve venkovních prostorech.

#### 9.2.5 Transformátor

Při výběru transformátoru není základním parametrem kupní cena. V potaz je nutné brát také ostatní parametry jako ztráty naprázdno  $P_0$ , ztráty nakrátko  $P_k$  a účinnost. Tyto parametry po dobu provozu transformátoru mohou způsobit daleko větší finanční ztráty. V našem případě je potřebný transformátor se jmenovitým výkonem 1,25 MVA a v rámci trhu máme na výběr například tyto.

Značka	Typ	Po [W]	Pk [W]
EXIMET	Standart	2500	15200
EXIMET	Reduced	2200	14000
Končar	5TNBO	1550	15700
Končar	8TBNO	1350	13500
Končar	9TBNO	950	11000
SGB	DOTE	2000	13500
SGB	DOTEL	1350	13500
SGB	DOTXL	730	9000

Tab. 2 - Ztráty transformátorů, zdroj [40, 41, 42]

Vzhledem k dlouhodobému provozu a ke ztrátám nám nejlépe vychází transformátor od firmy SGB s typovým označením DOTXL.

Velikost transformátoru na 1,25 MVA byla zvolena tak, aby transformátor pracoval optimálně na 75 – 50 % svého jmenovitého výkonu.

$$z = \frac{P_e}{\frac{\cos \varphi}{S_t}} \cdot 100 = [\%] \quad [36]$$

$z$  - zatížitelnost transformátoru [%]

$P_e$  - elektrický výkon [kW]

$\cos \varphi$  - účinník [-]

$S_t$  - zdánlivý výkon transformátoru [kVA]

### 9.3 Nosná konstrukce

Nosná konstrukce fotovoltaických modulů je vyrobena z vysoce pevných pozinkovaných profilů tvaru C. Pro výrobu profilů se používá ocelový pozinkovaný plech. Tyto profily jsou podélně spojeny hliníkovými profily. Do těch se následně uchytí fotovoltaické panely. Nosná konstrukce je uchycená v zemi pomocí kotvy. Ta je vyrobena z válcovaného ocelového profilu, který je zároveň zinkován. Velikost a délka kotev závisí na typu podloží, do kterého jsou kotvy zaráženy pomocí speciálního přípravku impulzním mikroúderem. Konstrukce je řešena tak, aby plocha panelů byla srovnána do jedné roviny. Celá je také dimenzována na zatížení sněhem a větrem podle zeměpisného umístění elektrárny. [33, 34, 35]

Na nosné konstrukci budou dále umístěny žlaby pro vedení zvláště kabelů DC od jednotlivých panelů a kabelů AC od měničů. Dále budou na konstrukci namontovány měniče a rozvaděče.

### 9.4 Sběrná stanice

Tato stanice bude řešena jako kiosková. Jedná se o budovu se třemi místnostmi strana NN, transformátorová komora a strana VN. Každá místnost má svůj vlastní vstup a ochranné pomůcky, které jsou v ní nutné používat. Tato budova je v provedení železobetonovém.

## 9.5 Uzemnění

Uzemnění celé elektrárny bude provedeno společným zemničem. Na ten budou připojeny konstrukce fotovoltaických panelů. Ta bude celá pospojována. Na tento zemnič bude připojeno i uzemnění sběrné stanice. Zde budou pospojovány veškeré ocelové konstrukce a elektrické přístroje.

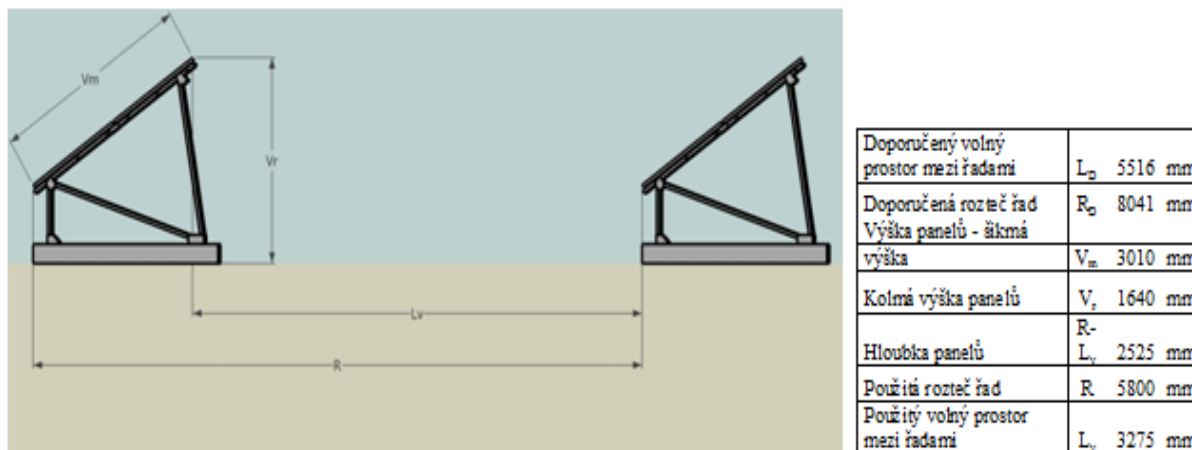
## 9.6 Popis návrhu FVE

Na nosné konstrukci jsou upevněné jednotlivé panely. Ty jsou zde umístěné ve třech řadách nad sebou a umístěné širší stranou dolů. Jednotlivé panely se zapojují do takzvaných stringů v našem případě po 16 panelech. Ty jsou zapojeny do série. Jak je již výše popsáno při sériovém spojení, zůstává při plném osvětlení všech panelů proud konstantní a napětí se sčítá. Může zde ale dojít k tomu, že jeden panel ze stringu není osvětlen. V tom případě zde není žádný proud a tento panel vyřadí všechny ostatní panely ve stringu, protože i na nich bude proud nulový. To je jeden s nejdůležitějších faktorů při počítání zastínování panelů v jednotlivých měsících.

Na řešení tohoto problému máme dva možné postupy.

Prvním je udělat rozestupy jednotlivých řad takové, že v každém dni v roce bude elektrárna plně osvětlena. V tomto případě pak můžeme na konstrukci umístit panely téměř libovolně, protože budou pořád osvětlené. V našem případě by to znamenalo udělat rozestupy mezi řadami o velikosti 8041mm. To by mělo za důsledek, že do námi vymezeného prostoru by se vešlo 11 řad panelů, na kterých by bylo umístěno 3180 panelů a maximální výkon elektrárny by byl 731,4 kW.

Moje rozhodnutí ale padlo na použití druhého postupu. Tento postup pracuje s tím, že panely jsou položeny na šířku. Články v panelu jsou zapojeny do třech řetězců, kde jsou zapojeny jednotlivé články v sérii a tyto řetězce jsou pak propojeny paralelně k sobě. Díky tomu je možné, aby panel běžel třeba jen ze 2/3 nebo 1/3, pokud na zbytek nedopadají sluneční paprsky. Kdyby byly panely namontované na výšku, tak by stačilo zastínění pouze spodní řady článků a tím by se vyřadil celý panel. Jednotlivé řady panelů při tomto způsobu umístíme blíže k sobě. V tomto konkrétním případě budou vzdáleny od sebe 5800mm.



Obr. 12 - Nákres znázorňující velikost rozstupů mezi řadami, zdroj [35]

To umožní vměstnat na stejnou plochu 16 řad panelů, na kterých bude umístěno 4608 panelů o celkovém maximálním výkonu 1082,9 kW. Bude zde počítáno s tím, že v problematických měsících, kterými jsou leden, únor, říjen, listopad a prosinec, bude část nebo dokonce i celá spodní řada panelů zastíněna. V tom případě by elektrárna běžela jen ze dvou třetin maximálního výkonu, což je 722 kW. Tato hodnota je prakticky srovnatelná s hodnotou maximálního výkonu v prvním postupu, kdy jsou rozestupy voleny tak, aby v žádném měsíci nedocházelo k zastínění.

Den	15	15	15	15	21
Měsíc	1	2	10	11	12
Celý panel	Zastíněno	Zastíněno	Nezastíněno	Zastíněno	Zastíněno
2/3 osvit	Zastíněno	Nezastíněno	Nezastíněno	Zastíněno	Zastíněno
1/3 osvit	Nezastíněno	Nezastíněno	Nezastíněno	Nezastíněno	Zastíněno

Tab. 3 - Zastínění panelů v jednotlivých měsících, zdroj program firmy Mandík solar

Zastínění panelů v problematických měsících, kdy je Slunce nejnižší na obloze, je vypočítáno pro daný den ve 12:00. Z výše uvedené tabulky vyplývá, že situace je nejhorší v lednu, listopadu a prosinci. V těchto měsících je také nejslabší sluneční aktivita a zároveň hrozí, že se elektrárna ocitne pod sněhem. Proto také v těchto případech tolik ono zastínění nevádí. Pro výpočet zastínění byl použit program zapůjčený firmou Mandík solar.

Jak je již napsáno výše, panely jsou zapojené po šestnácti kusech. Maximální hodnoty tohoto zapojení jsou napětí 476,8 V, proud 7,87 A a výkon 3760 Wp. Panely jsou propojené kabelem DRAKA SUNflex PV1-F 1,8 kV/DC a připojené přes rozvaděč na střídač. Rozvaděč zde tvoří přepět'ovou ochranu střídače. Na každý rozvaděč jsou připojeny čtyři řady panelů. Celá elektrárna obsahuje 288 stringů, z toho vyplývá, že v rámci elektrárny máme 72 rozvaděčů a stejný počet měničů, protože za každým rozvaděčem se nachází měnič. Na stejnosměrný vstup měniče je přivedený jednofázový výkon 15040 Wp. To při účinnosti 98.2% znamená, že na výstupu máme třífázový výkon 14769 Wp. Při trojfázovém napětí 230/400 V nám vychází proud 21,4 A.

$$S = 3U \cdot I \Rightarrow I = S \div 3U = 14769 \div (3 \cdot 230) = 21,4 \text{ A}$$

Všech 72 střídačů je poté připojeno na hlavní rozvaděč umístěný v rozvodně na straně NN pomocí kabelů DARAKA CYKY 5 x 10.

Tento rozvaděč je v provedení oceloplechovém skříňový se třemi poli. Přívody a vývody rozvaděče vedou spodem. Proto je nutné umístit ho nad kabelový kanál, kterým budou kabely přivedeny a dovedeny. První dvě pole budou osazena třífázovými pojistkovými odpínači pro napojení jednotlivých střídačů fotovoltaické výroby elektrické energie. Poslední ze tří polí bude osazené hlavním jističem celé výroby elektrické energie. Jedná se o třífázový jistič s motorovým pohonem, který bude ovládán prostřednictvím dvoustupňové ochrany. Ta bude sledovat následující veličiny: podpětí, přepětí, podfrekvenci, nadfrekvenci dodávané elektrické energie. Tato ochrana bude realizovat odpojení elektrárny od distribuční sítě v případě výskytu nestandardních parametrů napájecího napětí. Bude zde pro tyto účely nainstalována ochrana U-F GUARD, která bude přímo ovládat motorový pohon jističe. Dále bude toto pole osazeno vývody pro napojení rozvaděče vlastní spotřeby a kompenzačního rozvaděče, tepelnou ochranu transformátoru, bezpečnostním tlačítkem na dveřích rozvaděče. Rozvaděč bude dále napojen na trafostanici. [36, 37]

### 9.6.1 Kompenzační rozvaděč

Provoz elektrárny musí splňovat podmínky stanovené v PPDS. Při dodávce energie do DS musí být dodržen účinník v povolených mezích na hodnotě 1 tak, aby nedocházelo k nepříjemnému ovlivňování DS napětím mimo stanovené meze. To bude zajištěno

osazením kompenzačního rozvaděče od firmy PRONIX umístěného v rozvodně NN. [38, 39]

### 9.6.2 Rozvaděč vlastní spotřeby výroby

Pro vlastní spotřebu sběrné stanice bude v prostoru rozvodny NN osazen rozvaděč. Rozvaděč bude v provedení ocelo-plastovém a bude umístěn na stěně sběrné stanice a bude napojen na hlavní rozvaděč přes pojistkový odpínač umístěný před hlavním jističem celé výroby.

### 9.6.3 Stanoviště transformátoru

Základem této místnosti je transformátor, který transformuje napětí do požadované hladiny. V našem konkrétním případě je to z napětí 0,4 kV na 22 kV, které je požadováno DS. Jedná se o transformátor o jmenovitém výkonu 1,25 MVA, na který je sice připojen výkon 1,063 MVA, ale jedná se o výkon špičkový, v kterém jsou započteny pouze ztráty způsobené měniči. Tohoto výkonu nikdy elektrárna nedosáhne. Z toho také vyplývá, že proud přivedený na vstup transformátoru má hodnotu 1534,3 A. Ten je sem přiveden z hlavního rozvaděče NN. Ztráty transformátoru nakrátko jsou 9000 W a naprázdno 730 W. Z důvodů hlučnosti je transformátor uložen na tlumičích vibrací. Transformátor využívá přirozeného chlazení (typ ONAN), kde se využívá přirozeného proudění vzduch a oleje. Větrání stanoviště s transformátorem bude provedeno větracími otvory v obvodovém plášti sběrné stanice. [40, 41, 42]

$$S = U \cdot I \Rightarrow I = \frac{S}{U} = \frac{1250000}{22000} = 56,8 \text{ A}$$

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi = 22000 \cdot 56,8 \cdot 1 = 1250000 \text{ W}$$

### 9.6.4 Rozvaděč VN a připojení na DS

Trafostanice je dále připojená na rozvaděč VN. Ten je posledním krokem před připojením k DS. Rozvaděčů se využívá několik typů vzduchové, vakuové a s plynem SF<sub>6</sub> a vyrábí je několik firem jako SIEMENS, MOELLER, SEL a HOLEC. Sběrná stanice bude osazena rozvaděčem firmy SEL s typovým označením TPR6F s dvěma přívodními poli a jedním polem výstupním na transformátor. Rozvaděč je konstruován z nerezové oceli a je dimenzován na napětí do 25 kV. Celý systém rozvaděče je zapouzdřený po celou dobu životnosti a je naplněný plynem SF<sub>6</sub>. [36, 43]



Z rozvaděče dále povede přípojka. Ta bude zakopána pod zemí a následně bude připojena přes svislý odpínač umístěný na betonovém sloupu do DS. [44]

## 9.7 Závěrečné výpočty

Štítkové hodnoty panelu:

- $U = 29,8 \text{ V}, I = 7,89 \text{ A}$

Řetězec 16 panelů zapojených do série.

- Celkové napětí řetězce  $U_s$      $U_s = 16 \cdot U = 16 \cdot 29,8 = 476,8 \text{ V}$

- Celkový výkon řetězce  $P_s$      $P_s = I \cdot U_s = 7,89 \cdot 476,8 = 3762 \text{ W}_p$

Měniče

- Na vstupu jsou 4 řetězce, takže  $P_{vsm} = P_s \cdot 4 = 15048 \text{ W}_p$

- Účinnost měniče je 98,2%. Z toho vyplývá, že na výstupu máme výkon  $14777 \text{ W}_p$

- $U_f = 230 \text{ V} \rightarrow I_f = \frac{P_{vsm}}{U_f} = \frac{14777}{3 \cdot 230} = 21,42 \text{ A}$

Rozvaděč NN

- Na vstup je přivedeno 72 střídačů

- $P_{NN} = 72 \cdot P_{vsm} = 72 \cdot 14777 = 1063944 \text{ W}_p$

- $U_f = 230 \text{ V} \rightarrow I_f = \frac{P_{NN}}{U_f} = \frac{1063944}{3 \cdot 230} = 1542 \text{ A}$

Transformátor 400 V / 22kV

- $P_0 = 730 \text{ W}$  a  $P_k = 9000 \text{ W}$

- $\Delta P = P_0 + P_k = 9730 \text{ W}$

- $P = P_{NN} - \Delta P = 1063944 - 9730 = 1054214 \text{ W}_p$

- $U_s = 22 \text{ kV} \rightarrow I_s = \frac{P}{U_s} = \frac{1054214}{\sqrt{3} \cdot 22000} = 27,7 \text{ A}$

Ve výpočtech se jedná pouze o špičkové výkony, ve kterých nejsou započítány ztráty v jednotlivých rozvaděčích a kabelech. Tyto ztráty by celkový výkon snížily ještě o dalších přibližně 10%. Ve výpočtech jsou zahrnuty pouze ztráty na měničích a na transformátoru.

## Závěr

Stěžejním bodem této bakalářské práce bylo popsat postup návrhu velké fotovoltaické elektrárny o výkonu 1 MW. K tomuto bodu jsme se dostali pomocí jednotlivých krůčků popsanych ve čtyřech hlavních kapitolách.

V první části bakalářské práce bylo nejprve popsáno Slunce jako nevyčerpatelný zdroj energie. Dále zde byl popsán princip přeměny sluneční energie na energii elektrickou pomocí fotovoltaického jevu. Tento děj probíhá uvnitř fotovoltaických článků, ze kterých se sestavují solární panely a to buď sériovým, nebo paralelním propojením jednotlivých článků. Uvedeny zde byly také jednotlivé druhy článků monokrystalické, polykrystalické a amorfní.

Druhá část se zabývala jednotlivými systémy fotovoltaických elektráren. Uvedeny zde byly jejich hlavní druhy. Systém pro drobné aplikace, který se ani nedá nazývat elektrárnou, protože se využívá pouze pro napájení jednotlivých spotřebičů. Systém přímo připojený k DS, jenž všechnu svou vyrobenou energii dodává do DS, nebo ji spotřebovává část a do DS dodává pouze její přebytky. Posledním je ostrovní systém. Ten s vyprodukovanou energií nakládá třemi způsoby. Buď energii rovnou spotřebovává, nebo jí předtím akumuluje do akumulátoru, nebo se jedná o hybridní systém, kde je fotovoltaická elektrárna doplněná přídatným zdrojem energie.

Třetí část se zabývala legislativními předpisy spojenými s realizací fotovoltaické elektrárny. Byly zde uvedeny hlavní zákony spojené s FVE a nutné legislativní kroky před započítáním její realizace. V poslední době v této oblasti došlo k mnoha změnám od velké podpory fotovoltaických elektráren až po dnešní úplný zákaz připojování nových elektráren s výkonem nad 30 kW.

Poslední část se zabývala vlastním návrhem fotovoltaické elektrárny na okraji obce Zaječov ve středních Čechách. Tato elektrárna má celkovou plochu pokrytou panely o velikosti 7582 m<sup>2</sup>. To při průměrné hodnotě dopadajícího slunečního záření 1150 kW/m<sup>2</sup> za rok znamená hodnotu 8,719 GW na celou plochu pokrytou panely za rok. Elektrárna je složena ze 4608 panelů, které jsou umístěné na pevné nosné konstrukci. Tyto panely jsou vzdáleny od sebe tak, že v problematických zimních měsících (listopad, prosinec, leden a únor) je část nebo dokonce celá spodní řada panelů zastíněná. Elektrárna v tomto

extrémním případě pracuje jen ze dvou třetin. Umožní nám to ale vměstnat na stejně velkou plochu o téměř 1500 panelů více, které v měsících kdy je slunce nejaktivnější budou pracovat. Tyto panely jsou spojovány do řetězců po 16 panelech a následně přes rozvaděč připojeny na střídač. Na střídač jsou připojeny čtyři řetězce naráz a je zde ze stejnosměrného proudu vyprodukovaného panely měněn na proud střídavý. Z těchto 72 střídačů se dále pokračuje do sběrné stanice kde, je umístěna rozvodna NN, transformátor který transformuje napětí do požadované hladiny 22 kV a poslední částí je rozvodna VN. Z té jde už kabel na sloup elektrického vedení a přes odpojovač je připojen do distribuční sítě. Celkový špičkový výkon elektrárny činí 1,054 MW<sub>p</sub>.

## Použitá literatura

- [1] KRIEG, Bernhard. Elektřina ze Slunce: Solární technika v teorii a praxi. Ostrava: HEL, 1993.
- [2] HENZE a HILLEBRANT. Elektrický proud ze slunce: Fotovoltaika v praxi. Ostrava: HEL, 2000. ISBN 80-86167-12-7.
- [3] BROŽ, Karel. Alternativní zdroje energie. Praha: ČVUT, 2003, ISBN 80-01-02802-X.
- [4] MURTINGER, BERANOVSKÝ, TOMEŠ. Fotovoltaika elektřina ze Slunce. 2.vyd. Praha, Brno : ERA, 2008, 81s. ISBN 978-80-7366-133-5
- [5] LIBRA, M., POULEK, V. Zdroje využití energie. ČZU v Praze 2007, ISBN 978-80-213-1647-8.
- [6] Solární energie. Solární energie [online]. [cit. 2012-02-28]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k12.htm>
- [7] Sluneční soustava:Slunce. Sluneční soustava:Slunce [online]. [cit. 2012-02-28]. Dostupné z <http://www.aldebaran.cz/astrofyzika/sunsystem/slunce.html>
- [8] LIBRA a POULEK. Fotovoltaika, teorie i praxe využití solární energie. Praha :ILSA, 2009, ISBN 978-80-904311-0-2.
- [9] Solární energie. Solární energie [online]. [cit. 2012-02-28]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k21.htm>
- [10] Solární energie. Solární energie [online]. [cit. 2012-02-28]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k31.htm>
- [11] Solární energie. Solární energie [online]. [cit. 2012-02-28]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k23.htm>
- [12] Fotovoltaika - sluneční záření v České republice [online]. [cit. 2012-02-28]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx>
- [13] Dvojpólové prvky řízené osvětlením: fotoodpor, fotodioda, fototranzistor [online]. [cit. 2012-02-28]. Dostupné z: [http://dlabos.wz.cz/en/16-Soucastky\\_rizene\\_osvetlenim.html](http://dlabos.wz.cz/en/16-Soucastky_rizene_osvetlenim.html)
- [14] Fotoelektrický jev. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-02-28]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaicky\\_jev](http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaicky_jev)
- [15] Přednášky pana Ing. Tomáše Blechy, Ph.D. z předmětu Fyzikální elektronika
- [16] Czech RE Agency : Fotovoltaika pro každého [online]. [cit. 2012-02-28]. Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika#clanek>
- [17] Vývoj (generace) fotovoltaických článků [online]. [cit. 2012-02-28]. Dostupné z: <http://fotovoltaika.falconis.cz/fotovoltaika/vyvoj-fotovoltaickych-clanku.php>

- [18] Fotovoltaika druhé a třetí generace - TZB-info [online]. [cit. 2012-02-28]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3506-fotovoltaika-druhe-a-treti-generace>
- [19] Fotovoltaika - Solar Home [online]. [cit. 2012-02-28]. Dostupné z: <http://www.fotovoltaicke-solarni-elektrarny.cz/fotovoltaika>
- [20] Fotovoltaické solární panely a kolektory - produkty na Solární-energie.info [online]. [cit. 2012-02-28]. Dostupné z: <http://www.solarni-energie.info/fotovoltaicke-solarni-panely-kolektory.php>
- [21] TZB Info. Začínáme s fotovoltaickými panely [online]. [cit. 2012-02-28]. URL: <http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=6068&h=303&pl=49>
- [22] <http://www.vosvdf.cz/cmsb/userdata/489/obnovitelne-zdroje/Fotovoltaicke%20clanky.pdf> [online]. [cit. 2012-02-28]. URL: <http://www.vosvdf.cz/cmsb/userdata/489/obnovitelne-zdroje/Fotovoltaicke%20clanky.pdf>
- [23] Fotovoltaické elektrárny - popis jak to funguje [online]. [cit. 2012-03-03]. URL: <http://www.nemakej.cz/fotovoltaicky-jev-a-idealni-podminky-pro-solarni-elektrarny.php>
- [24] Energie na Vaší straně - Fotovoltaické elektrárny - legislativa pro rodinné domy [online]. [cit. 2012-03-03]. URL: <http://www.novatrix.cz/produkty/fotovoltaicke-elektrarny/rodinne-domy/legislativa-fotovoltaika.htm>
- [25] Fotovoltaické elektrárny - úvod do problematiky [online]. [cit. 2012-03-03]. URL: [http://www.enerfinplus.cz/fotovoltaika\\_uvod.php](http://www.enerfinplus.cz/fotovoltaika_uvod.php)
- [26] REALISTAV s.r.o. - Fotovoltaika - Legislativa [online]. [cit. 2012-03-03]. URL: [http://www.realistav.cz/fv\\_legislativa.php](http://www.realistav.cz/fv_legislativa.php)
- [27] Legislativní rámec v České republice týkající se fotovoltaiky | MAXiSUN [online]. [cit. 2012-03-03]. URL: <http://www.maxisun.cz/clanky/legislativni-ramec-v-ceske-republice-tykajici-se-fotovoltaiky>
- [28] LEGISLATIVA 2011, fotovoltaika a zákony | ROAD Energy - fotovoltaické panely [online]. [cit. 2012-03-03]. URL: <http://www.roadenergy.eu/d41-fotovoltaika-a-zakony.html>
- [29] European commission, Photovoltaic Geographical Information System- interactive maps [online]. [cit. 2012-04-14]. URL: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php#>
- [31] DARAKA, Fotovoltaické kabely [online]. [cit. 2012-04-30]. URL: <http://web.draka.cz/images/stories/katalog/fotovolaticke/sunflex.pdf>
- [32] DARAKA, Silové kabely a vodiče [online]. [cit. 2012-04-30]. URL: [http://web.draka.cz/images/stories/katalog/silove\\_kabely/CYKY.pdf](http://web.draka.cz/images/stories/katalog/silove_kabely/CYKY.pdf)
- [33] Statika staveb., Statické posudky fotovoltaických [online]. [cit. 2012-04-30]. URL: <http://www.statikon.cz/products/a2009-staticke-posudky-fotovoltaickyh-elektraren/>
- [34] BusinessInfo.cz., Fotovoltaické elektrárny a daň z nemovitosti [online]. [cit. 2012-04-30]. URL: <http://www.businessinfo.cz/cz/clanek/dan-z-nemovitosti/fotovoltaicke-elektrarny-dan-nemovitost/1001677/57545/>

- [35] MANDÍK SOLAR, a.s.. Montážní návod nosných konstrukcí fotovoltaických elektráren.
- [36] BLAŽEK, Projekt připojení fotovoltaické elektrárny do distribuční soustavy. Bakalářská práce. Brno: Ústav elektrenergetiky FEKT VUT v Brně, 2010
- [37] Elektronika.cz., datasheet [online]. [cit. 2012-04-30].]. URL: <http://www.cz-elektronika.cz/docs/datasheet.pdf>
- [38] Pronix., Kompenzace účinníku [online]. [cit. 2012-04-30].]. URL: [http://www.pronix.cz/files/Katalog\\_Frako.pdf](http://www.pronix.cz/files/Katalog_Frako.pdf)
- [39] ČEZ Distribuce., Energetická legislativa PPDS 2011 [online]. [cit. 2012-04-30].]. URL: <http://www.cezdistribuce.cz/cs/energeticka-legislativa/pravidla-provozovani-ds/ppds2011.html>
- [40] Elpro-Energo., olejove transformátory [online]. [cit. 2012-05-16].]. URL: [http://www.elpro-energo.cz/download/olejove-transformatory/olej\\_trafa.pdf](http://www.elpro-energo.cz/download/olejove-transformatory/olej_trafa.pdf)
- [41] Acrosun., transformátory [online]. [cit. 2012-05-16].]. URL: <http://www.acrosun.cz/energetika/transformatory/olejove/>
- [42] Eximettrafo., olejová trafo [online]. [cit. 2012-05-16].]. URL: [http://www.eximettrafo.cz/en/03\\_olejova\\_trafa](http://www.eximettrafo.cz/en/03_olejova_trafa)
- [43] Power-energo., power-energo download[online]. [cit. 2012-05-18].]. URL: <http://www.power-energo.cz/down/lKMifOz5ix-8265-sel-flyer-rev5.pdf>
- [44] DRIBO., DRIBO- přehledový katalog [online]. [cit. 2012-05-18].]. URL: [http://www.dribo.cz/pdf/CZ\\_DRIBO\\_Prehledovy\\_katalog.pdf](http://www.dribo.cz/pdf/CZ_DRIBO_Prehledovy_katalog.pdf)
- [45] Fotovoltaicke-elektrarny., katalog [online]. [cit. 2012-05-18].]. URL: <http://www.fotovoltaicke-elektrarny.cz/kat.aspx?c=1>
- [46] A+F GmBh [online]. [cit.2012-05-21]. URL: [http://www.af.net/files/skycarrier\\_1000\\_300dpi.jpg](http://www.af.net/files/skycarrier_1000_300dpi.jpg)
- [47] Martin Libra., laboratoř [online]. [cit.2012-05-21]. URL: <http://tf.czu.cz/~libra/labor.htm>
- [48] Profimedia., fotografie[online]. [cit.2012-05-26]. URL: <http://www.profimedia.cz/fotografie/solarni-pec-ctyri-solaire-na-odeillo-ve/0000707369/>

## Seznam obrázků

Obr. 1 Reakce ve Slunci

Obr. 2 Solární pec Odeillo ve Francii

Obr. 3 Mapa trvání slunečního svitu v ČR

Obr. 4 Roční úhrn globálního slunečního záření v ČR [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

Obr. 5 Fotovoltaický článek

Obr. 6 Polykrystalický článek

Obr. 7 Monokrystalický článek

Obr. 8 Jednoosé natáčení panelů

Obr. 9 Experimentální koncentrátor energie

Obr. 10 Graf průměrné hodnoty dopadajícího záření v dané lokalitě

Obr. 11 Panel Kyocera KD 235 GH 2PB

Obr. 12 Nákres znázorňující velikost rozestupů mezi řadami

## Seznam tabulek

Tab. 1 Specifikace střídače Sunny Tripower 15000TL

Tab. 2 Ztráty transformátorů

Tab. 3 Zastínění panelů v jednotlivých měsících