

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

**NÁVRH A MOŽNOST VYUŽITÍ
FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY NA ÚZEMÍ
ČR**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

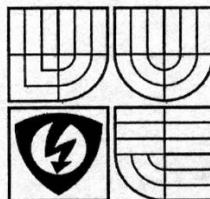
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

RADOVAN ŠVEC

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Švec Radovan

Ročník: 3

ID: 53482

Akademický rok: 2007/08

NÁZEV TÉMATU:

Návrh a možnosti využití fotovoltaické elektrárny na území ČR

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. solární energie v Evropě a v ČR,
2. technologie pro využití solární energie - typy solárních kolektorů,
3. fotovoltaika a její princip,
4. návrh solární elektrárny v podmínkách ČR,
5. začlenění solární elektrárny do elektrizační sítě ČR.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

dle pokynů vedoucího

Termín zadání: 17.12.2007

Termín odevzdání: 4.6.2008

Vedoucí projektu: Ing. Petr Mastný, Ph.D.

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.
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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA
POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Radovan Švec

Bytem: Leština 5,539 44

Narozen/a (datum a místo): 17.11.1983, Vysoké Mýto

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií,

se sídlem Údolní 244/53, 602 00 Brno,

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CS.c

(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

☐ disertační práce

☐ diplomová práce

☒ bakalářská práce

☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP:

Návrh a možnost využití fotovoltaické elektrárny na území ČR

Vedoucí/ školitel VŠKP:

Ing. Petr Mastný, Ph.D.

Ústav:

Ústav elektroenergetiky

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

☒ tištěné formě

—

počet exemplářů 1

☒ elektronické formě

—

počet exemplářů 1

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☐ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 3. 6. 2008

.....
Nabyvatel


.....
Autor

Bibliografická citace práce:

ŠVEC, R. Návrh a možnost využití fotovoltaické elektrárny na území ČR. Bakalářská práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2008, 55 stran.

Prohlašuji, že jsem svou **bakalářskou práci** vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

Zároveň bych na tomto místě chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Mastnému Ph.D za cenné rady a připomínky k mé práci, poskytnutou literaturu a svým rodičům za podporu během celé doby mého studia.

.....
Švec Radek



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



**Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky**

Bakalářská práce

Návrh a možnost využití fotovoltaické elektrárny na území ČR

Radovan Švec

vedoucí: Ing. Petr Mastný,Ph.D

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2008

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Faculty of Electrical Engineering and Communication

Department of Electrical Power Engineering

BACHELOR'S Thesis

Projection and Possibilities of of a Photovoltaic Power Plant Utilization in the Czech Republic

by

Radovan Švec

Supervisor: Ing. Petr Mastný, Ph.D

Brno University of Technology, 2008

Brno

ABSTRAKT

Bakalářská práce pojednává o návrhu a možnostech využití fotovoltaických elektráren na území ČR. V první části práce pojednává o stavu a přístupu k solární energii u nás i ve světě. V druhé části jsou popsány části zařízení sloužící k přeměně slunečního záření na elektrickou energii. Třetí část pojednává o fyzikálním principu fotovoltaického jevu. Další části se věnují obecnému návrhu fotovoltaické elektrárny a v poslední části je zmíněno ekonomické zhodnocení projektu a připojování na přenosovou soustavu.

KLÍČOVÁ SLOVA: fotovoltaická; záření; modul; přeměna; elektrárna

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with project and possibilities of use of photovoltaic power stations at the area of the Czech Republic. The first part is dedicated to state and aproach to solar energy in our state and abroad. In the second part are described parts of mecanism used for conversion of solar radiation to electric energy. The third part deals with physical principal of photovoltaic effect. Other parts are dedicated to general project of photovoltaic power station and in the final part economic evaluation of project and joining to the transmission system are mentioned.

KEY WORDS: photovoltaic; radiation; modul; power station

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	13
SEZNAM TABULEK.....	14
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	15
1.SOLÁRNÍ ENERGIE V ČR A V EVROPĚ.....	16
1.1 SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNY NA ÚZEMÍ ČR.....	16
1.2 SOLÁRNÍ ENERGIE V EVROPĚ	17
2 TECHNOLOGIE PRO VYUŽITÍ SOLÁRNÍ ENERGIE.....	18
2.1 SOLÁRNÍ ENERGIE.....	18
2.1.1 PŘÍMÉ ZÁŘENÍ	18
2.1.2 DIFÚZNÍ ZÁŘENÍ	19
2.2 KONCENTRÁTORY SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ.....	20
2.2.1 HŘEBENOVÉ KONCENTRÁTORY	20
2.3 SLEDOVAČE SLUNCE	22
2.3.1 SLEDOVAČE NA PRINCIPU HODINOVÝCH STROJKŮ	22
2.3.2 SLEDOVAČE NA PRINCIPU VYPAŘOVÁNÍ A KONDENZACE FREONU	22
2.3.3 SLEDOVAČE NA PRINCIPU JEHLANŮ Z PV ČLÁNKŮ	23
2.3.4 SLEDOVAČE NA PRINCIPU PRUŽIN Z PAMĚŤOVÝCH SLITIN	23
2.4 FORMY PŘEMĚN SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ	25
2.4.1 PŘEMĚNA NEPŘÍMÁ	25
2.4.2 PŘEMĚNA PŘÍMÁ	25
2.5 FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY	26
2.5.1 ÚČINNOST FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ.....	27
2.5.2 NÁHRADNÍ SCHÉMA FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU	27
2.5.3 DALŠÍ MATERIÁLY NA VÝROBU FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ	28
2.5.4 FOTOVOLTAICKÉ MODULY	28
2.5.5 VLIV ZNEČIŠTĚNÍ NA FOTOVOLTAICKÉ PANELY	29
2.6 INVERTORY	30
2.6.1 FUNKCE INVERTORU	30
3 FOTOVOLTAIKA A JEJÍ PRINCIP	31
3.1 FOTONY.....	31
3.2 PRINCIP FOTOVOLTAICKÉHO JEVU.....	32
4 NÁVRH SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNY V PODMÍNKÁCH ČR	39
4.1 VÝBĚR VHDNÝCH LOKALIT A ZÁSADY PRO DIMENZOVÁNÍ	39
4.2 NÁVRH KOMPONENTŮ A VÝPOČET.....	39
4.2.1 HLAVNÍ ČÁSTI PV ELEKTRÁRNY	40
4.2.2 PLOŠNÉ ROZDĚLENÍ ČLÁNKŮ	42
4.2.3 VÝPOČTY PARAMETRŮ PV ELEKTRÁRNY.....	43
5 ZAČLENĚNÍ SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNY DO ELEKTRIZAČNÍ SÍTĚ ČR.....	45
5.1 PŘIPOJENÍ ZDROJŮ DO DISTRIBUČNÍ SÍTĚ	45

5.1.1 PODMÍNKY PŘIPOJENÍ FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY NA DISTRIBUČNÍ SÍŤ	45
6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	48
6.1 OBECNÉ ZHODNOCENÍ	48
6.2 ZHODNOCENÍ METODOU ČISTÉ SOUČASNÉ HODNOTY	48
6.3 POROVNÁNÍ PEVNÉHO A OTOČNÉHO SYSTÉMU	52
7 ZÁVĚR.....	53
POUŽITÁ LITERATURA	55

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1.1 Průměrné množství slunečního záření na území ČR za rok [1]</i>	16
<i>Obrázek 2.1 Podíl difúzního záření [2]</i>	20
<i>Obrázek 2.2 Trojúhelníkové prodloužení [7]</i>	21
<i>Obrázek 2.3 Řez solárním systémem s hřebenovým koncentrátorem [7]</i>	21
<i>Obrázek 2.4 Sledovač na principu vypařování freonu [7]</i>	22
<i>Obrázek 2.5 Sledovač na principu jehlanu z PV článků [7]</i>	23
<i>Obrázek 2.6 Konstrukce sledovače s pružinami [7]</i>	24
<i>Obrázek 2.7 Konstrukce sledovače TRAXLE [4]</i>	25
<i>Obrázek 2.9 Fotovoltaický článek [7]</i>	26
<i>Obrázek 2.10 Model článku s vyšší účinností [7]</i>	27
<i>Obrázek 2.11 Náhradní schéma PV Článku [3]</i>	28
<i>Obrázek 2.12 Řez fotovoltaickým modulem [7]</i>	29
<i>Obrázek 2.13 Vliv znečištěných panelů [9]</i>	29
<i>Obrázek 3.1 Model krystalu křemíku [6]</i>	32
<i>Obrázek 3.2 Dotování křemíku [6]</i>	33
<i>Obrázek 3.3. Schéma energetických hladin polovodičů [7]</i>	34
<i>Obrázek 3.4 Schéma energetických hladin [7]</i>	35
<i>Obrázek 3.5 Schéma energetických hladin [7]</i>	35
<i>Obrázek 3.4 Závislost napětí na prázdko při různé intenzitě osvětlení [7]</i>	36
<i>Obrázek 3.5 Spektrum slunečního záření [7]</i>	36
<i>Obrázek 3.6 V – A charakteristika PV článku při konstantní teplotě [7]</i>	37
<i>Obrázek 3.7 V-A charakteristika osvětleného článku při různé teplotě [7]</i>	38
<i>Obrázek 4.1 Fotovoltaický panel SG 170 5Z [9]</i>	40
<i>Obrázek 4.2 Blokové schéma zapojení PV elektrárny</i>	42

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 2-1 Specifické výkony zářivé energie[2]</i>	<i>19</i>
<i>Tabulka 2-2 Typická denní nabídka záření [2].....</i>	<i>19</i>
<i>Tabulka 4-1 Úhrn vyzářené energie během roku</i>	<i>43</i>
<i>Tabulka 6-1.Množství energie vyrobené pevným a otočným systémem.....</i>	<i>52</i>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

c	rychlost světla
h	Planckova konstanta
p	úrokové procento
E	energie fotonu, energie dopadajícího záření
I_{FV}	maximální generovaný proud
I_0	sluneční konstanta
I_{PN}	intenzita přímého záření
K_i	investiční náklady
N	roční náklady odvozené u investičních nákladů
N_{OD}	odpisy
N_P	nákladny na údržbu
N_{UR}	úroky z investice
P_{AC}	AC činný výkon
P_E	celkový výkon elektrárny
P_I	peněžní příjem
P^A	aktualizovaný peněžní příjem
P^A_C	celkové aktualizované peněžní příjmy
R_S	sériový odpor
R_P	svodový odpor
S	zdánlivý výkon
T	cena za odprodej elektřiny
W_a	tepelný výkon
W_v	tepelné ztráty
Z	součinitel znečištění atmosféry
$Z_{\check{C}}$	čistý zisk
η	účinnost DC/AC přeměny
λ	vlnová délka
ν	frekvence

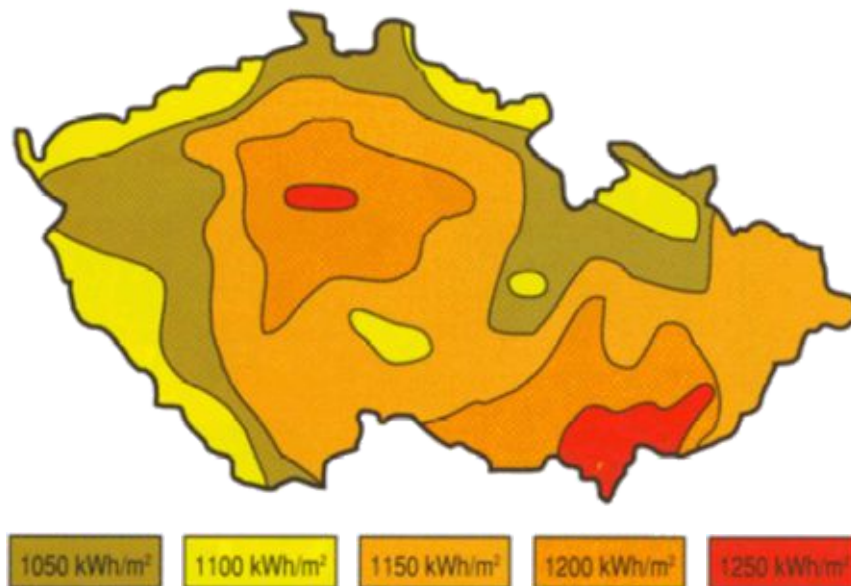
1.SOLÁRNÍ ENERGIE V ČR A V EVROPĚ

1.1 Solární elektrárny na území ČR

Na území naší republiky nejsou podmínky pro provoz solárních elektráren ideální a to z nedostatku množství slunečných dnů. Tím pádem nelze tímto druhem vyráběné energie nějak zásadně nahradit některé ze stávajících zdrojů energie. V našich podmínkách je získávání této energie ještě podstatně dražší. Ale i přes tyto nevýhody jsou na našem území některé solární elektrárny, které jsou zapojeny do distribuční sítě.

Z obrázku 1.1 je patrné množství dopadajícího záření na naše území a to, že na nepatrnou část území Středočeského kraje a na část Jihomoravského kraje (Břeclavsko) dopadá nejvíce záření a to 1250 kWh/m^2 , lze tedy konstatovat, že tyto dva kraje, Jihomoravský a Středočeský, jsou na tom s dopadem slunečního záření nejlépe v celé ČR. Méně záření dopadá na Krušné hory, Šumavu, Krkonoše, oblast Hrubého a Nízkého Jeseníku a menší část Českomoravské vrchoviny a to okolo 1100 kWh/m^2 . Množstvím dopadajícího záření 1150 kWh/m^2 je pokryta největší část našeho území a to skoro 50 %. Na ostatní části území dopadá méně energie.

Obrázek 1.1 Průměrné množství slunečního záření na území ČR za rok [1]



Průměrná doba slunečního svitu na našem území je 1750 hodin a to 1320 do dubna do září s průměrnou intenzitou 604 W/m^2 a zbytek, tedy 430 hodin od října do března s intenzitou slunečního svitu 451 W/m^2 .

Solární elektrárny se na našem území jsou aktivně zapojeny do rozvodné sítě. Již funguje několik solárních elektráren na území ČR. Je to například solární elektrárna v Opatově na Svitavsku. Na střeše bývalé odchovny je instalováno 369 fotovoltaických panelů o celkovém výkonu 60 kWp a již dodává energii do rozvodné soustavy [8]

VUT má instalovány fotovoltaické panely a to o celkovém výkonu 20 kWp, které se nachází na budově elektrotechnické fakulty Technická 8.

Další solární elektrárna v ČR je na Masarykově univerzitě v Brně. Její kolaudace proběhla v lednu 2006. Celkový výkon je **40 kWp**, z toho je **35 kWp** na rovné střeše na speciální konstrukci na budově Pedagogické fakulty a **5 kWp** na téže budově, ale na fasádě. [9]

Solární elektrárna o výkonu 10kW je v objektu dukovanské elektrárny, kde je instalováno 200 fotovoltaických panelů. Dnes již nefungující solární elektrárna je Mravenečník blízko přečerpávací elektrárny Dlouhé Stráně. Byla v provozu od roku 1998 – 2002. [3]

1.2 Solární energie v Evropě

Energie je téma, které v Evropě nabývá stále většího významu. Evropská komise varovala před rostoucí závislostí na dovozech, která do roku 2030 naroste na 70%. Zatížení klimatu spalováním fosilních paliv stále přibývá. Vzhledem k růstu populace je také potřeba zajistit krytí potřeb energie. Nejmodernější spalovací technologie omezují emise škodlivin jako oxidy síry, dusíku, popeloviny apod. na minimum, není však prostředek k zamezení produkce oxidu uhličitého, který je znám jako jeden z hlavních původců jevu zvaného „skleníkový efekt“, tedy globálního oteplování a zajisté i místních změn klimatu. Nelze též opomenout fakt, že velké centrální parní zdroje spotřebují ve svém energetickém cyklu značné množství vody, která pak, vypouštěná z chladících věží, ovlivňuje místní klima.

V souladu s těmito tvrzeními je důvod najít alternativní řešení. Vývoj alternativních zdrojů se předpokládá. Někteří výrobci energie a distributoři trend nástupu alternativních zdrojů již zahrnuli do svých mnohaletých strategických plánů a investují do nich již nyní s cílem dalšího posilování této sféry v příštích letech. Jako příklad se uvádí Royal Dutch Shell, Mobil, British Petroleum (plán růstu vlastní fotovoltaické výroby průměrně 30 % ročně) a Amoco, vesměs společnosti operující s ropou a plynem. Z distributorů například holandská společnost Nuon, East Electric, Vattenfall nebo RWE. Například Shell předpokládá, že podíl obnovitelných zdrojů u velkých výrobců energie převyší 50 % již během 50 let. Toto číslo je ohromující, vždyť představuje dvojnásobek současné celkové světové spotřeby a v podstatě znamená, že téměř celý nárůst spotřeby ve zmíněném období má být vykryt právě alternativními energetickými zdroji.

2 TECHNOLOGIE PRO VYUŽITÍ SOLÁRNÍ ENERGIE

2.1 Solární energie

Slunce je po miliony let nejdůležitějším dodavatelem energie pro Zemi. Bez této energie by se život na Zemi neobešel. Fosilní energetické suroviny jako jsou uhlí, ropa a zemní plyn, které jsou dnes vytěžovány v ohromném měřítku, nejsou ničím jiným, než zásobami vytvořenými v dřívějších věcích Země. Díky technickému pokroku a velkému „hladu po energii“ jsou tyto zásoby, které se vytvářely miliony let, pomalu během několika desetiletí vyčerpány. To nám vytváří důvod nahradit tyto fosilní zásoby jinými alternativami. To platí i pro energii jadernou, jejíž zdroj uran je rovněž surovinou těženou na Zemi. Ještě větší hrozba než vytěžení veškerých surovin na Zemi je trvalé poškozování životního prostředí a klimatu, způsobené marnotratným zacházením se zdroji surovin. Slunce jako zdroj solární energie je z fyzikálního hlediska *fúzním* reaktorem. Na základě enormně velké hmotnosti s ní spojené hmotné přitažlivosti se atomy „taví“ v podstatě se mění atomy vodíku na hélium. Při tom se uvolňuje nepředstavitelné množství energie, předávané ve formě elektromagnetického záření do kosmického prostoru. Z toho jen zlomek dopadá na Zemi, při tom překoná dráhu 150 mil. km zhruba za 8,3 minuty. Při měření solárního záření mimo zemskou atmosféru, přibližně ve výšce satelitů se vyskytuje proud energie cca 1360 W/m^2 , který se nazývá **solární konstanta**. Množství energie, která dopadne na Zemi, značně závisí na aktuálním počasí. Při jasné obloze dopadá největší část záření na Zemi, aniž by měnilo směr. [2]

Máme dva druhy záření, které dopadá na povrch Země:

- Přímé záření
- Difúzní záření

2.1.1 Přímé záření

je záření dopadající kolmo na plochu fotovoltaických panelů a lze ho koncentrovat zrcadly nebo čočkami. Intenzita přímého záření lze vyjádřit vztahem 2.1

$$I_{pn} = I_0 \exp\left(-\frac{Z}{\varepsilon}\right) \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (2.1)$$

kde I_0 je sluneční konstanta, Z – součinitel znečištění atmosféry

ε – součinitel, závisí na výšce slunce nad obzorem a nadmořské výšce daného místa

2.1.2 Difúzní záření

Je záření, které se v atmosféře rozptýlí odrazem o molekuly plynů ve vzduchu, částice prachu a mraky a proniká k povrchu Země. Při tomto rozptylu se nemění vlnová délka záření a je stejná jako u záření přímého. Do difúzního záření se připočítává i odrazení záření přímé. [5] Difúzní záření nelze koncentrovat. Souhrn přímého a difúzního záření se označuje jako *globální záření*. Zatím co difúzní záření tvoří v létě asi 50 % záření globálního (měsíční průměr), je jeho podíl v zimě díky oblačnému počasí podstatně vyšší. Specifické výkony zářivé energie jsou uvedeny v tabulce 2-1 a podíl difúzního záření na obrázku 2.1.

Tabulka 2-1 Specifické výkony zářivé energie [2]

Specifické výkony zářivé energie a podíl difúzního záření		
	Záření (W/m^2)	Difúzní podíl (%)
Modré nebe	800-1000	10
Zamlžené nebe	600-900	až 50
Mlhavý podzimní den	100-300	100
Zamračený zimní den	50	100
Celoroční průměr	600	50 až 60

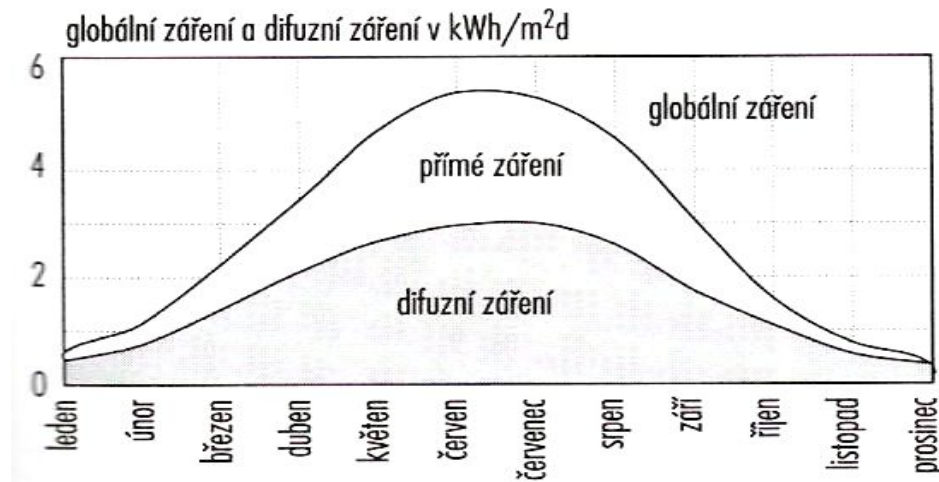
Čím více vodní páry atmosféra obsahuje a čím vyšší je podíl difúzního záření, tím více energie globálního záření ubývá. V celoročním průměru obnáší difúzní záření asi 60 %. Proto se musí použít technologie, které dobře využívají i difúzní záření. Ovšem s koncertujícími systémy nelze ve velkém měřítku v střední Evropě počítat.

Odpovídajícím způsobem kolísá silně v průběhu dne i energie záření (Tabulka 2-2). Vlivem otáčení Země a jejího oběhu kolem Slunce během roku kolísá i dopad záření na povrch Země vlivem střídání dne a noci i střídání ročních období. V zimě přijímá severní polokoule méně energie než v létě, protože dny jsou kratší a Slunce je níže na nebi. Pokles solárního záření za spolupůsobení globálního větrného systému u nás vedou k převážně chladnému zimnímu počasí s nízkými hodnotami solárního záření. Na jižní polokouli je to opačně. Značně kolísající množství solárního záření je příčinou základního problému v technickém využití solární energie. [2]

Tabulka 2-2 Typická denní nabídka záření [2]

	Sluneční záření	
	Jasno	Oblačno
Léto	7-8 kWh/m^2	2 kWh/m^2
Předjaří/ podzim	5 kWh/m^2	1,2 kWh/m^2
Zima	3 kWh/m^2	0,3 kWh/m^2

Obrázek 2.1 Podíl difúzního záření [2]



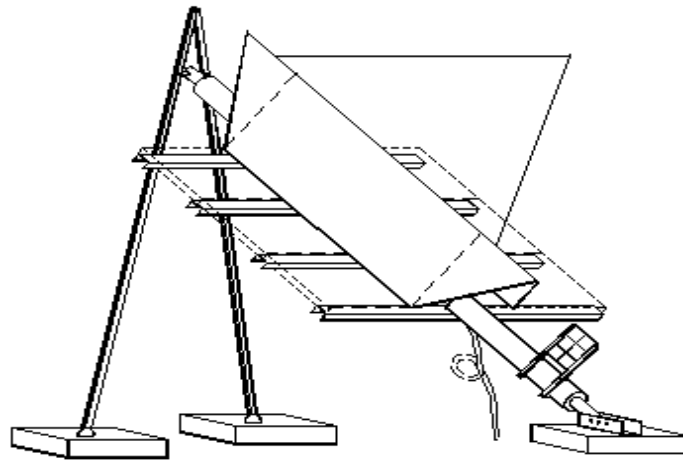
2.2 Koncentrátory slunečního záření

Koncentrátory slouží jako shromažďovač dopadajícího záření co nejvíce na povrch aktivní části fotovoltaického článku. Zvyšují množství dopadajícího přímého záření a tím zvyšuje i účinnost fotovoltaického článku. Je výhodou, že koncentrátory pro fotovoltaické aplikace nevyžadují vysoce speciální a drahá zrcadla. Zrcadla však musí odolávat povětrnostním vlivům nejméně deset let a musí mít vysokou celkovou odrazivost pro fotony v intervalu vlnových délek cca $\lambda = 300\text{--}1100\text{ nm}$. [3]

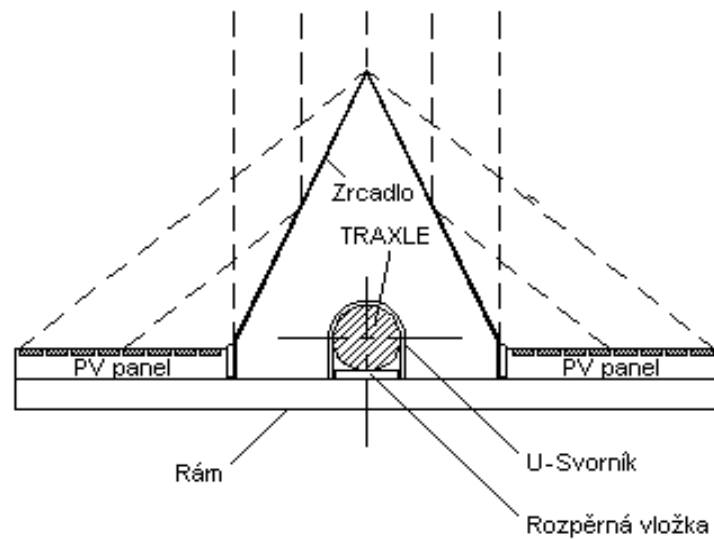
2.2.1 Hřebenové koncentrátory

Tento hřebenový koncentrátor naruší od V-žlabového koncentrátoru má zcela eliminována vnější zrcadla (Obrázek 2.3) a není zde potřeba další podpůrný systém zrcadel. Tím se zmenšují i momenty sil způsobené větrem. Vnitřní „hřeben“ tvoří mírný koncentrátor záření. U jednoosých sledovačů s horizontální i polární osou by mělo být zrcadlo na krajích prodlouženo za fotovoltaické panely, aby bylo zajištěno homogenní osvětlení solárních panelů i při sezónních změnách úhlu mezi horizontální rovinou a rovinou pohybu Slunce po obloze. Toto trojúhelníkové prodloužení na obou krajích je znázorněno na obrázku 2.2. U sledovačů Slunce s polární osou a s nastavitelným sklonem osy podle ročního období není prodloužené zrcadlo nutné. [3]

Obrázek 2.2 Trojúhelníkové prodloužení [7]



Obrázek 2.3 Řez solárním systémem s hřebenovým koncentrátorem [7]



Zrcadlo může být zhotoveno:

- z válcovaného plechu z nerezavějící oceli se speciální povrchovou úpravou
- z válcovaného Al plechu chráněného proti povětrnostním vlivům polymerní vrstvou (PVF)
- ze stříbrem pokryté akrylátové fólie
- z hliníkem pokryté akrylátové fólie

2.3 Sledovače slunce

Fotovoltaické systémy s pohyblivým stojanem aneb sledovač Slunce je technické zařízení schopné otáčet se za Sluncem, tedy sledovat dráhu Slunce od rozednění na východě až po západ Slunce na západě. Problematicke pohyblivých stojanů pro kolektory solární energie je věnována značná pozornost v solární energii, neboť významným způsobem ovlivňují účinnost PV článků. Při účinnosti článků z polykrystalického křemíku cca 18 % lze z plochy $S = 1 \text{ m}^2$ získat výkon maximálně 200 W. Při šikmém dopadu tato hodnota klesá. Pokud jsou PV články přidělané na zařízení, které je schopno po celý den sledovat pohyb slunce a natáčet PV články kolmo ve směru dopadu záření, může pak PV článek vyprodukovat více energie s porovnáním s kolektorem pevným. Instalací sledovacího zařízení lze navýšit množství dopadající energie až o 57 %. [4]

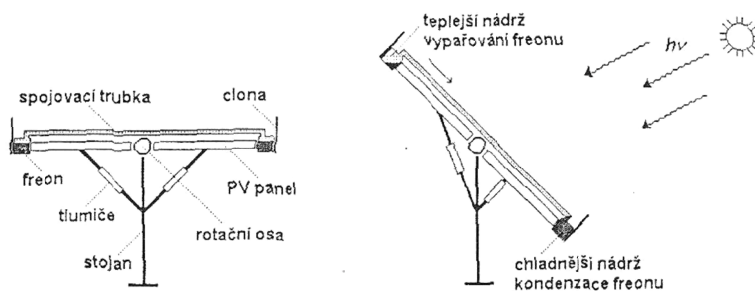
2.3.1 Sledovače na principu hodinových strojů

Sledovače mohou být založeny na principu hodinových strojů nebo na principu počítačem řízených krokových motorků se samosvornou převodovkou. Mohou být velmi přesné a pracují za každého počasí a dokáží fungovat i za tmy. V případě počítačem řízených krokových motorků může počítač řídit více pohyblivých stojanů a může mít naprogramován pohyb na celý rok. Je to však systém složitý a se složitostí se stupňuje i možnost poruchy.

2.3.2 Sledovače na principu vypařování a kondenzace freonu

Sledovače na principu vypařování a kondenzace freonu jsou velmi jednoduché, ale přesnost sledování je u nich nejhorší. Jejich znázornění je na obrázku 2.4. Po obou stranách vyváženého solárního systému jsou nádržky s freonem, které jsou propojené trubkou a opatřené clonkami, které z vnější strany stíní proti dopadu přímého slunečního záření. Přímé záření tak dopadá pouze na nádržku, která je vždy na vzdálenější straně od slunce a zahřívá ji. Tam se freon odpařuje a jeho páry se kondenzují v nádržce umístěné na bližší straně ke Slunci, která je chladnější. Tato strana se stává těžší a klesá tíhovou silou níže a tak se celý solární PV systém natáčí ke Slunci.

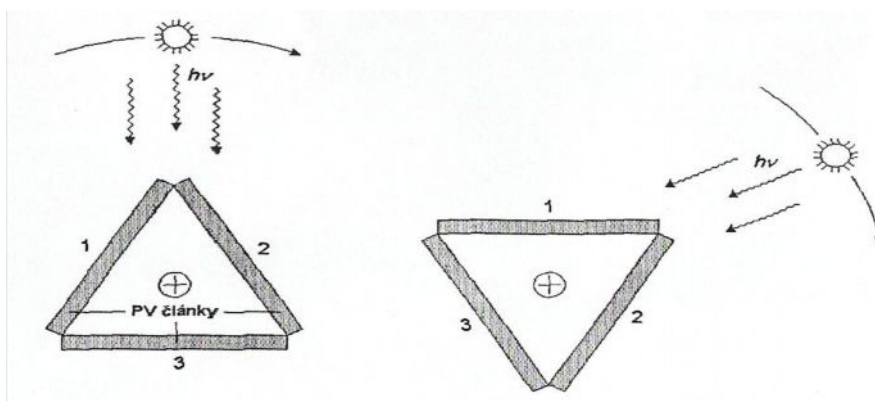
Obrázek 2.4 Sledovač na principu vypařování freonu [7]



2.3.3 Sledovače na principu jehlanů z PV článků

Sledovače s jehlany z PV článků jsou založeny na principu porovnávání signálu neboli okamžitých výkonů z malých PV článků, které jsou vůči sobě pootočený o určitý úhel. Na obrázku 2.5 je schéma sledovače na principu jehlanů se třemi PV články. Signál z jednotlivých článků vyhodnocuje a porovnává elektronické zařízení, to řídí i motor, který nastavuje články tak, aby signály z článků 1 a 2 byly stejné, tedy aby intenzita dopadající na panely byla stejná, a signál z článku 3 byl menší. Jehlan se tedy orientuje ke Slunci hranou mezi články 1 a 2. Slunce pak leží v rovině, která svírá s oběma články stejný úhel a je rovinou souměrnosti těchto článků. V případě použití dvou takových jehlanů lze řídit orientaci systému ve dvou osách a nastavovat PV panely přesně kolmo ve směru slunečního záření. Výhodou je poměrně velká přesnost sledování.

Obrázek 2.5 Sledovač na principu jehlanu z PV článků [7]



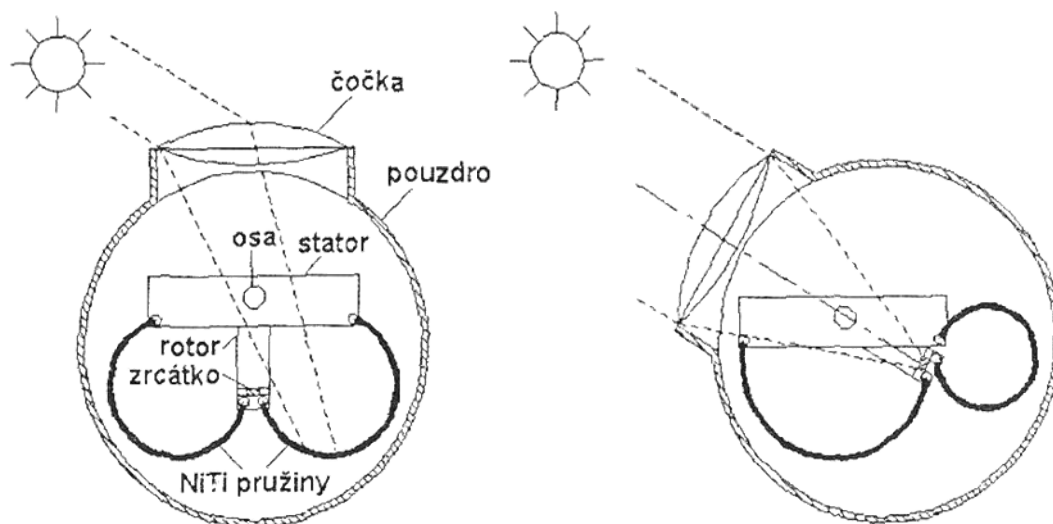
2.3.4 Sledovače na principu pružin z paměťových slitin

Materiál paměťových pružin je například NiTi. Jedná se o takové materiály, které jsou-li deformovány „pamätují“ si svůj původní tvar a po překročení tzv. transformační teploty se do původního tvaru vrátí. Slitiny s obousměrnou pamětí se po snížení teploty pod transformační teplotu vrátí zpět do deformovaného tvaru.

Konstrukce sledovačů je různá, v případě zobrazení na obrázku 2.6 obsahuje stator a s ním otočně spojený rotor, čočku pro soustředění slunečního záření a hnací prvky v našem případě pružiny ze slitiny NiTi s tvarovou pamětí ve tvaru zakřiveného konkávního plechu umístěné v oblasti ohniska čočky. Princip činnosti spočívá v tom, že hnací prvek opatřený povrchovou úpravou pro absorpci energie slunečního záření je umístěn v pouzdře. Jedním koncem je spojen s částí rotoru a druhou částí je spojen s částí statoru. Takové uspořádání umožňuje přenos síly z hnacího prvku na rotor. Spojná čočka umístěná na pouzdře je spojena s rotorem a její ohnisko leží u tohoto konce hnacího prvku, který je spojen s rotorem. Spojení čočky s rotorem umožňuje

v průběhu sledování Slunce udržovat optickou osu čočky stále přibližně rovnoběžnou se směrem dopadajícího záření. [7]

Obrázek 2.6 Konstrukce sledovače s pružinami [7]

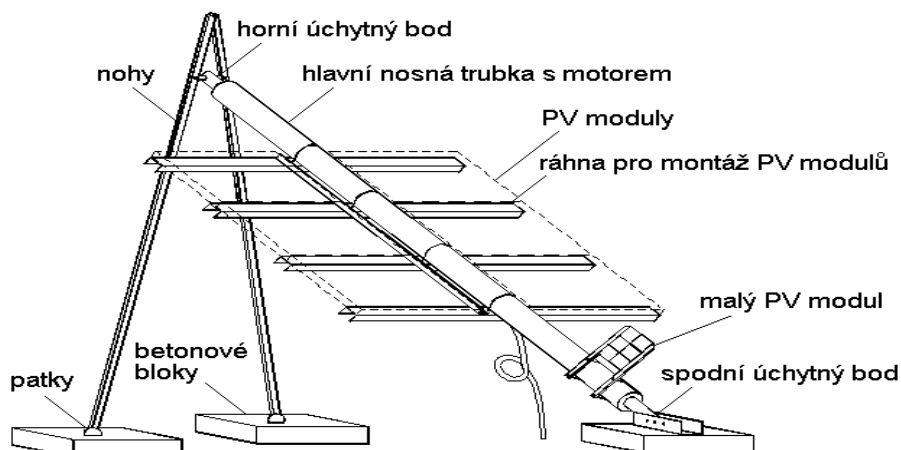


Solární sledovač je konstrukce složená z hliníkových profilů a nerez. Na této konstrukci jsou namontovány fotovoltaické panely. Vzhledem k tomu, že se solární sledovač otáčí za Sluncem, jsou solární panely nastaveny během celého dne přímo proti Slunci a podstatně se tak zvyšuje jejich výkon. Hlavní nosnou částí je trubka z hliníku nebo nerez postavená šikmo v ose sever/jih. Na této trubce jsou uchycena ráhna a na nich fotovoltaické panely.

V trubce je zabudován D.C. motor, který přes šroubovou převodovku otáčí celou konstrukci. Elektrický proud pro pohon motoru je získáván z malého PV modulu uchyceného na spodní části trubky. Tento modul je namontován kolmo ke Slunci a má PV články na obou stranách. Sluneční sledovač TRAXLE se otáčí podle toho, na kterou stranu malého PV modulu svítí Slunce. [7]

Použití sledovačů slunečního záření TRAXLE zvyšuje výkon fotovoltaických systémů až o 70%. Mají bezúdržbovou konstrukci, jednoduché ovládání a bezobslužný provoz.

Obrázek 2.7 Konstrukce sledovače TRAXLE [4]



2.4 Formy přeměn slunečního záření

Druhy slunečních článků dělíme podle toho jakým způsobem v nich probíhá přeměna slunečního záření.

Způsoby přeměny dělíme na:

1. Nepřímá přeměna
2. Přímá přeměna

2.4.1 Přeměna nepřímá

Tato přeměna se děje ve slunečních kolektorech, nebo jinak nazvaných termických kolektorech, ve kterých dochází vlivem dopadu slunečního záření ke vzniku tepelné energie. Jelikož by na přeměnu na energii elektrickou bylo zapotřebí dalších dějů, využívá se takto získaná tepelná energie na ohřev vody nebo vytápění. [7]

2.4.2 Přeměna přímá

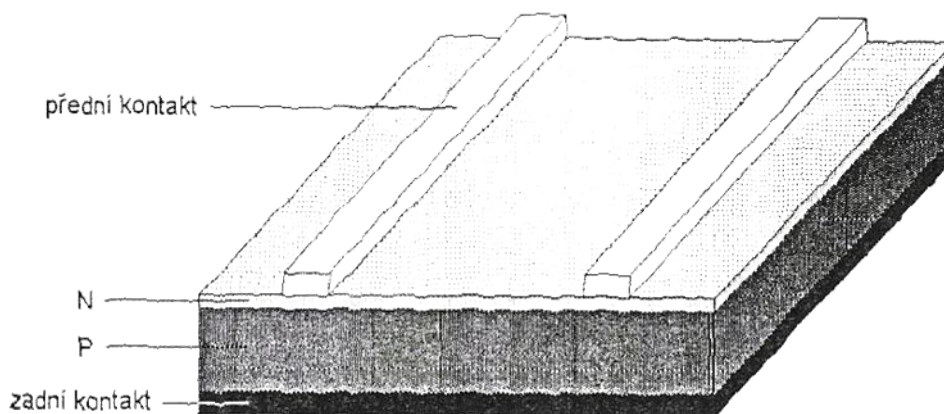
Přeměna přímá nám solární záření převádí rovnou na energii elektrickou a to pomocí fotovoltaických článků, které jsou vyrobeny z polovodičových prvků na bázi křemíku. Křemík se používá v polykrystalické a monokrystalické. Monokrystalické forma křemíku je výrobně jednodušší a tím také levnější.

2.5 Fotovoltaické články

Samostatný fotovoltaický solární článek je velkoplošný polovodičový konstrukční prvek. Je schopen přeměňovat světlo přímo na elektrický proud a to využitím fotovoltaického jevu. Přeměna sluneční energie na elektrický proud je statická, to znamená, že zde nejsou žádné pohyblivé mechanické díly, žádný hluk a žádné následné produkty. Tento proces se vyskytuje u všech polovodičů, a to že dopadající sluneční paprsek na polovodič vyrábí pohyblivé dvojice nosičů náboje. [6]

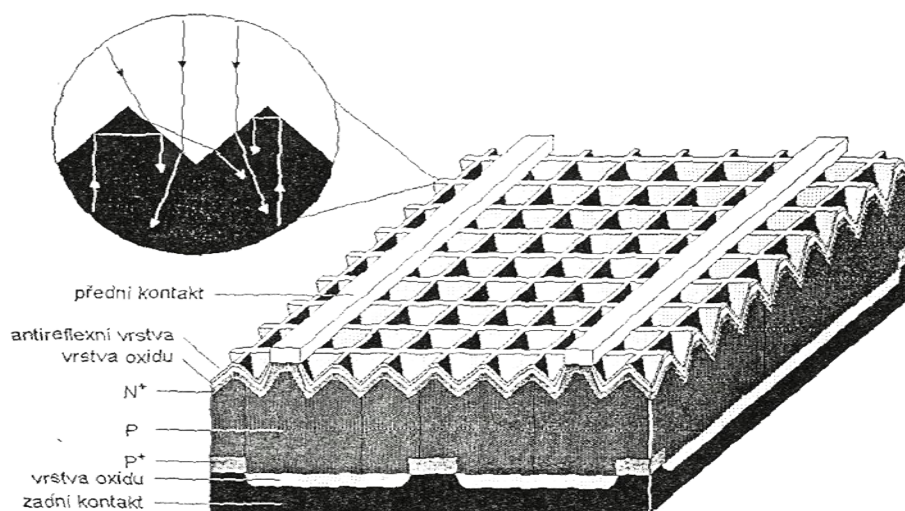
Základem pro fotovoltaický solární článek je polovodičový materiál např. křemík, který slouží jako generátor proudu, pak kovových kontaktů např. stříbrných a z tenké vrstvy materiálu zlepšující optické vlastnosti. Křemík je polovodič jen v krystalické formě. Takový krystal je tvořen pravidelně uspořádanými atomy, které jsou vzájemně přidržovány chemickými vazbami a způsobují je valenční (vnější) elektrony. [7]

Obrázek 2.9 Fotovoltaický článek [7]



Vyšší účinnost fotovoltaického článku, lze dosáhnout konstrukcí na obrázku 2.10. Touto konstrukcí je dosaženo to, že záření, které projde článkem a nezpůsobí generaci dvojic nosičů se odrazí zpět a je opětovně využito ke vzniku nosičů náboje. Tím je razantně zvýšena účinnost fotovoltaických článků.

Obrázek 2.10 Model článku s vyšší účinností [7]



2.5.1 Účinnost fotovoltaických článků

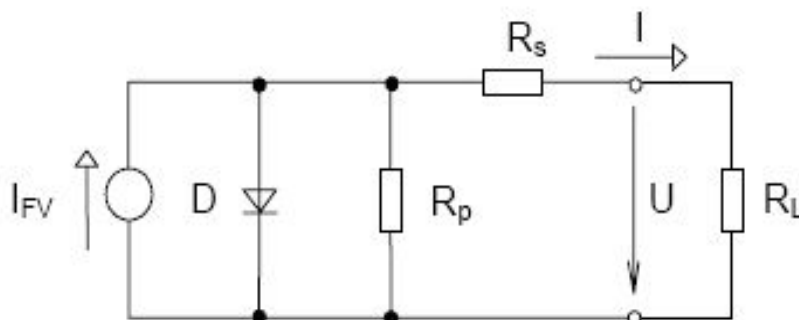
Faktory ovlivňující účinnost fotovoltaických článků:

- Zastínění kontaktem na lící straně
- Ztráty rekombinací na povrchových plochách, kde je krystal narušen vždy a tím vede ke zvýšené rekombinaci.
- Ztráta napětí díky špatným charakteristikám diod.
- Zmenšení činitele křivky v důsledku sériových a paralelních odporů
- Ztráty volných nosičů náboje rekombinací. Některé volné nosiče náboje jsou ještě dříve, než se dostanou do oblasti působení elektrického pole přechodu P-N, opět zachyceny a od toho okamžiku již nepřispějí k vytváření vnějšího elektrického proudu. K rekombinaci dochází na poruchovém krystalu nebo na nečistotách obsažených v krystalu. [6]

2.5.2 Náhradní schéma fotovoltaického článku

Náhradní schéma fotovoltaického článku je znázorněno na obrázku 2.11. Z tohoto přiblížení je zřejmé, že k dosažení maximálního výstupního výkonu je třeba dosáhnout maximální generovaného proudu I_{FV} , minimalizovat sériový odpor R_s a dosáhnout velký svodový odpor R_p . Přitom je třeba použít takové technologie, které umožňují dosáhnout nízkou výrobní cenu při vysoké účinnosti a vysoké spolehlivosti. [3]

Obrázek 2.11 Náhradní schéma PV Článku [3]



V první řadě je třeba dosáhnout maximální proud I_{FV} , tj. zajistit maximální generaci nosičů v objemu článku, jejich sběr přechodem PN a minimalizovat rekombinaci jak v objemu článku, tak povrchovou rekombinaci. Dalším krokem je minimalizace elektrických ztrát způsobených sériovým odporem R_s , zároveň s dosažením maximální účinné plochy článku, pomocí optimalizace sběrnice. [3]

PV článek má PN přechod orientován kolmo k čelní ploše článku. Na přední vrstvě je nanesena antireflexní vrstva kvůli minimalizaci odrazu, a tím se využilo maximum dopadajícího záření. Přední kontakt je pouze ve tvaru mřížky nebo hřebínku, aby co nejméně zastíňoval plochu článku. Kontakty se nanášejí buď sítotiskem nebo vakuovým napařováním.

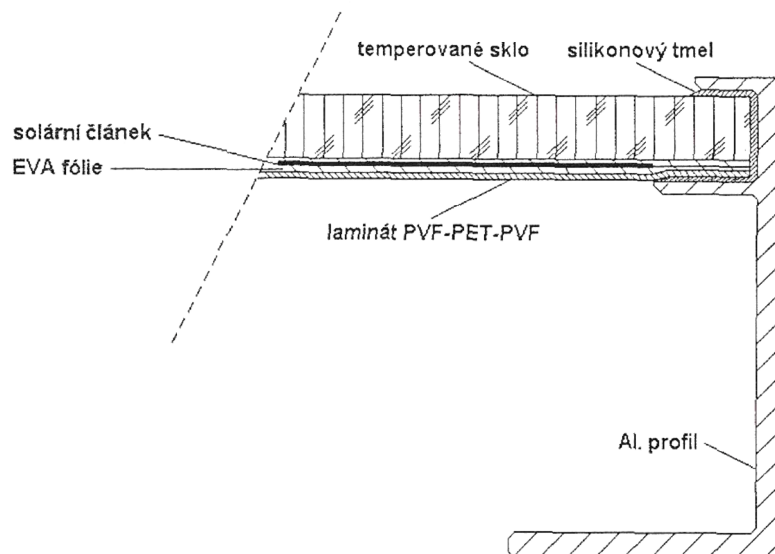
2.5.3 Další materiály na výrobu fotovoltaických článků

Jako další materiál se používá GaAs, InP, ale díky vysoké ceně mají uplatnění jen v kosmických aplikacích, kde cena není limitující faktor. Tyto materiály jsou odolné vůči kosmickému záření a mají vyšší účinnost oproti křemíkovým článkům. Dále se používají články na bázi CuInSe, CdTe, ty mají nízkou cenu, ale také malou účinnost okolo 10%. [7]

2.5.4 Fotovoltaické moduly

Do panelů se fotovoltaické články vkládají v sérioparalelní kombinaci, aby při definovaném osvětlení poskytovaly žádané stejnosměrné napětí. Sériovou kombinací se dosahuje vyššího napětí článku, a paralelní kombinací docílujeme vyšších proudů. A proto se články na modul montují a zapojují sérioparalelně. Na obrázku 2.12 je znázorněn řez fotovoltaickým modulem, na jeho čelním povrchu je temperované sklo, které je velmi odolné vůči nárazu. Na sklo se pokládá plastová EVA (etylvinicetát) folie a na ní se skládají a propojují PV články. Přes články se opět pokládá EVA folie a zadní stěnu tvoří laminátová kompozice PVF-PET-PVF (polyvinylidenfluorid-polyethyltereftalát-polyvinylidenfluorid). Poté se vyčerpá vzduch mezi foliemi a panel se zahřeje na teplotu tání EVA folie. Etylvynicetát se po tepelném zpracování rozteče mezi PV články v prostoru mezi čelním sklem a laminátovou deskou. Pak se moduly zarámují a zatmelují silikonovým tmelem do hliníkových profilů. [7]

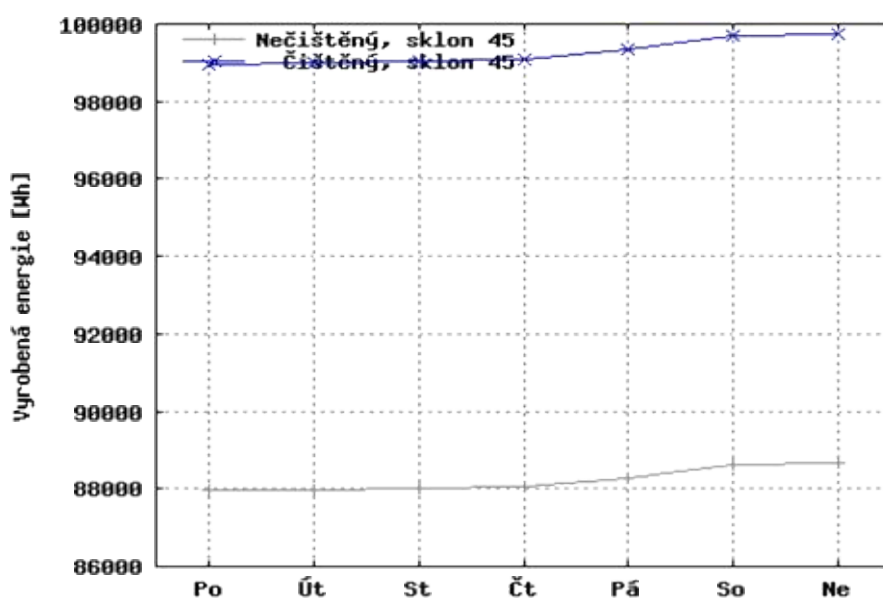
Obrázek 2.12 Řez fotovoltaickým modulem [7]



2.5.5 Vliv znečištění na fotovoltaické panely

Jaký dopad na účinnost fotovoltaických panelů má znečištění ovzduší je patrné na obrázku 2.13, kde je graf vyrobené energie z článku čistého a nečistého. Je pořízen z solární elektrárny na budově Masarykovy univerzity v Brně. Rozdíl mezi vyrobenou energií na čistém a nečistém článku tvoří min. 13 %. Znečištění je vlivem spadu popílku a nečistot z ovzduší. Proto není vhodné umísťovat solární články v těsné blízkosti tepelných elektráren.

Obrázek 2.13 Vliv znečištěných panelů [9]



2.6 Invertory

2.6.1 Funkce invertoru

Invertor neboli střídač napětí je zařízení, které nám umožňuje získat z stejnosměrného napětí, které je generováno PV články, napětí střídavého průběhu. Střídavé napětí získává za pomoci invertoru požadované parametry pro připojení k distribuční síti. Invertor je v běžném provozu zcela autonomní a je schopen se vypořádat se všemi situacemi, které mohou přicházet v úvahu. Výstupní napětí ze střídače odpovídá přísným normám, které jsou kladeny na kvalitu výstupního napětí a díky možnosti tzv. "přifázování" umožňuje střídač přímé propojení s rozvodnou sítí v daném objektu. Instalace měniče se provádí v co nejkratší možné vzdálenosti od fotovoltaických panelů z důvodu minimalizace ztrát na propojovacích vodičích. Invertor je jistěn jističi odpovídající použitému výkonu a to jak na straně stejnosměrného vstupu, tak na straně střídavého výstupu. Je také vybaven regulátorem napětí a to z důvodu, aby nedošlo k poškození obvodů invertoru přepětím.

3 FOTOVOLTAIKA A JEJÍ PRINCIP

3.1 Fotony

V optice se světlo obvykle popisuje jako elektromagnetické vlnění o velmi krátké vlnové délce. Vlnová délka je ovlivňována barvou dopadajícího světla. Fialové světlo má kratší vlnovou délku než červené světlo. Výkon záření je dán amplitudou elektromagnetické vlny. Při střetu s hmotou vykazuje světlo jiné vlastnosti. Chová se jako proud částic dopadající na hmotu. Tyto částice se nazývají fotony a jejich energie výhradně závisí na barvě světla. Fialové fotony nesou více energie než fotony červené. Makroskopický měřitelný výkon záření se vypočte z množství fotonů, které dopadnou za jednotku času na ozařovanou plochu, násobené energií jednotlivých fotonů. Při absorpci světla může jeden foton předat svoji energii jenom jednomu elektronu. K vytvoření jednoho volného elektronu musí být vynaloženo jedno kvantum minimální energie, znamená to, že každý foton musí nést tuto potřebou energii. Světlo tedy musí být určité barvy, nebo barvy ležící od této určité barvy blíže k fialovému konci spektra. Když pak fotony nesou více energie než je zapotřebí na uvolnění jednoho elektronu, opět se každým fotonem uvolní jen jeden elektron a přebytečná energie se přemění v teplo. [6]

Platí tedy:

- Volné nosiče náboje se mohou v polovodiči uvolňovat až od určité vlnové délky.
- Přebytečná energie fotonu je ztracena
- Každý foton vyhovující barvy vygeneruje jeden pohyblivý nosič náboje
- Každý z nosičů nábojů vzniklých absorpcí světla může veškerou energii přijatou při odtržení od mateřského atomu předat spotřebiči jako užitečnou energii. [6]

Tyto podmínky vymezují první, nejvyšší hranici účinnosti, které lze u solárního článku dosáhnout.

Energie fotonu je dána vztahem 3.1

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (3.1)$$

kde: h je Planckova konstanta, ν je frekvence

c je rychlost světla

[7]

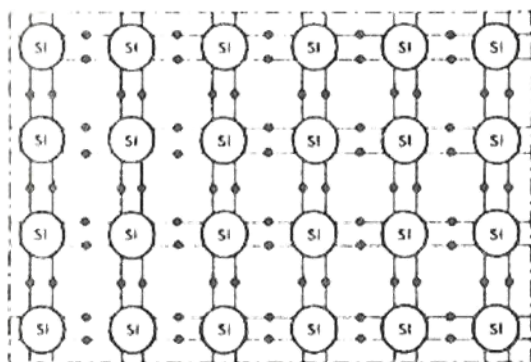
3.2 Princip fotovoltaického jevu

K fotovoltaické přeměně energie elektromagnetického záření na energii elektrickou dochází v polovodičových fotovoltaických (PV) článcích. Podle typu nosiče náboje dělíme polovodiče na vlastní (intristické) a příměsové. Příměsové polovodiče mohou být dotované typu N, v polovodiči typu N jsou majoritními nosiči náboje elektrony, a typu P, kde jsou majoritními nosiči náboje díry, jenž mají chování jako částice s kladným nábojem.

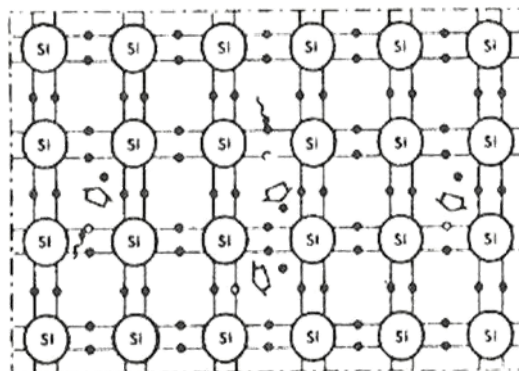
Princip fotovoltaického jevu je popsán na atomu křemíku.

Obrázek 3.1 Model krystalu křemíku [6]

a)



b)



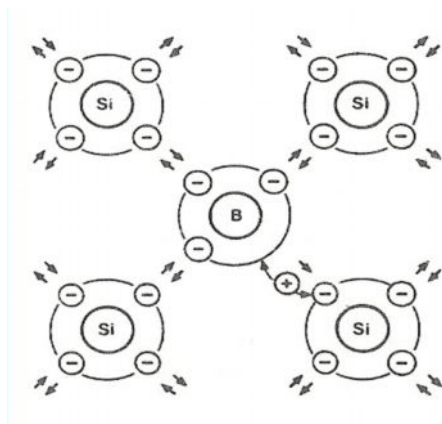
a) Model ničem nerušeného krystalu křemíku

b) Model ve kterém se působením světelných paprsků uvolňují elektrony ze stávajících vazeb a stávají se tak pohyblivými.

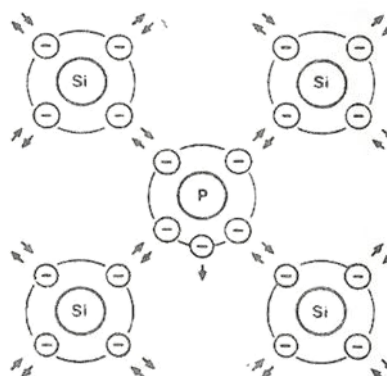
. Do základního materiálu křemíku jsou ve zcela nepatrném množství přimísены cizí atomy, kterým k zabudování do krystalické mřížky chybí jeden valenční elektron. Obvykle jsou to atomy boru nebo hliníku. V tom případě se jedná o dotování typu P znázorněné na obrázku 3.2 Cizím atomem je přitom nahrazen každý miliontý atom křemíku. V případě dotování borem je chybějící atom boru doplněn. Tím ale v atomu křemíku zůstává jedna kladná díra po chybějícím elektronu. Při dotování polovodiče typu N u něhož je koncentrace atomů fosforu nebo arsenu několikrát vyšší, tj. že nahrazen je každý stý až tisící atom křemíku. [6]

Obrázek 3.2 Dotování křemíku [6]

a)



b)



a) Vodivost typu P způsobená dotací borem.

b) Vodivost typu N způsobená fosforem.

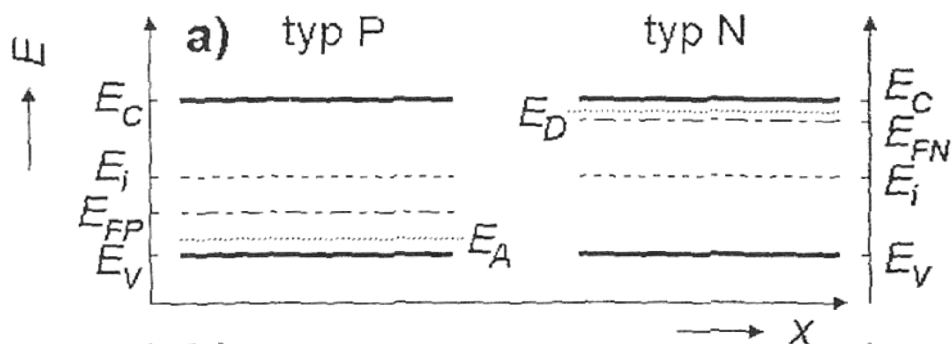
Křemík, tedy jeho atom obsahuje 14 elektronů, má krystalovou strukturu diamantu, takže každý atom křemíku je obklopen čtyřmi nejbližšími sousedy. Poslední čtyři elektrony (valenční) vytvářejí s těmito sousedy kovalentní vazby. Energie volného elektronu, který nepodléhá působení žádných sil, může nabývat libovolných hodnot. Naproti tomu energie elektronu v krystalu křemíku nabývá pouze hodnot určitých v důsledku pohybu v poli periodického potenciálu. Tyto hladiny energie jsou rozděleny do pásů nazývaných “pásky dovolených energií”. Pásky dovolených energií jsou odděleny “pásky zakázaných energií”

Důležitou roli hrají tyto pásy: valenční pás (za velmi nízkých teplot poslední obsazený), poslední zakázaný pás a vodivostní pás (za velmi nízkých teplot první neobsazený). Valenční pás se sestává z energetických stavů valenčních elektronů. Protože těchto stavů je stejný počet jako valenčních elektronů v celém krystalu, budou za velmi nízkých teplot obsazené. Po valenčním pásu následuje pás zakázaných energií tzn., že žádný elektron nemůže mít energii odpovídající stavu v tomto pásu. Dále následuje pás vodivostní jehož stavy jsou za velmi nízkých teplot neobsazené. Uvnitř pásů dovolených energií jsou rozdíly mezi jednotlivými energetickými hladinami neměřitelně malé.

Nejvyšší energetická hladina valenčního pásu se označuje E_V , nejnižší hladinu vodivostního pásu značíme E_C . Šířka zakázaného pásu je tedy rozdílem hladiny pásu vodivostního a valenčního, a značí se E_G . Důležitou energetickou hladinou je tzv. Fermiho energie E_F . U vlastního polovodiče leží hladina Fermiho energie uprostřed zakázaného pásu. V nejnižším energetickém stavu valenční elektrony úplně obsazují všechny hladiny ve valenčním pásu, nemohou zprostředkovat vedení elektrického proudu. [7]

Energetické hladiny jsou znázorněny na obrázku 3.3

Obrázek 3.3. Schéma energetických hladin polovodičů [7]



Dodáním energie, například tepelné (foton) nebo světelné (foton) některé elektrony přejdou do vodivostního pásu. Valenční i vodivostní pás se stanou pásy částečně obsazenými. V energetickém schématu se to projeví tak, že tyto elektrony uvolní energetické hladiny. Ve valenčním pásu a obsadí hladiny s vyšší energií ve vodivostním pásu. Stanou se tak elektrony, které mohou zprostředkovávat vedení elektrické proudy.

U některých atomů křemíku tak vznikla prázdná místa. Bud' zde mohou opět uvíznout volné elektrony, což se v energetickém schématu projeví jako zpětné přestupy elektronů z vodivostního pásu na příslušné hladiny ve valenčním pásu., nebo sem mohou přeskakovat elektrony od sousedních atomů. Tím se ale prázdná místa posunou k sousedním atomům a dalšími podobnými přeskoky se mohou dále posunovat.

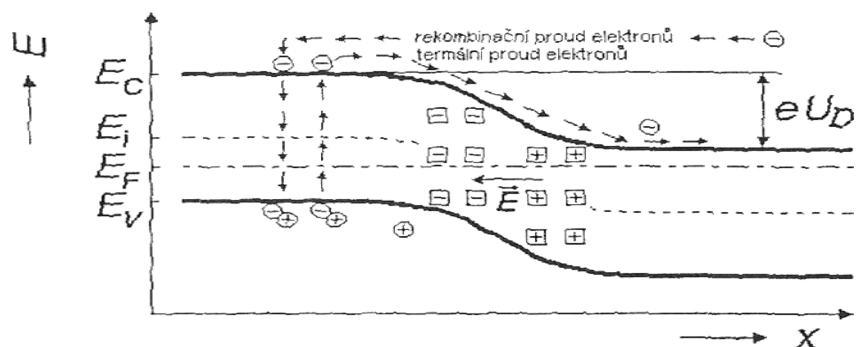
V elektrickém poli se volné i přeskakující valenční elektrony posunují ve směru intenzity elektrického pole, neboť mají záporný elektrický náboj. To znamená, že prázdná místa se posunují ve směru pole. Prázdné místo se tedy chová jako částice s kladným nábojem a jinou hmotností , než jakou má volný elektron. Tato částice se označuje „díra“.

Ve vlastním polovodiči uvolnění jednoho elektronu z valenčního pásu znamená vznik jedné díry, počet volných elektronů a děr je stejný. Krystal navenek zůstává elektricky neutrální. Je-li generace páru elektron díra vyvolána dopadajícím fotonem , tak energie tohoto fotonu musí být větší nebo rovna šířce zakázaného pásu. Fotony s menší energií polovodičem procházejí a fotony s větší nebo rovnou energií generují páry elektron-díra a tak se pohlcují. U křemíku je potřeba minimální energie 1,11 eV. To je šířka jeho zakázaného pásu. Přenese-li se na elektron více energie, pak se její část převyšující minimální energii přemění v teplo. [7]

Ve fotovoltaických člancích se mění energie dopadajících fotonů na elektrickou. Jedná se v podstatě o velkoplošnou diodu, přechod PN je orientován kolmo k čelní ploše mezi přední a zadní stranou. Pokud na fotovoltaický článek dopadají fotony s větší energií, než jaká odpovídá šířce zakázaného pásu, tyto fotony generují páry elektron-díra. Tak odevzdávají svojí energii a pohlcují se. Případný přebytek energie většinou předají kmitům mřížky a tak ho mění v teplo, což vede k ohřevu materiálu polovodiče. Páry elektron-díra generované v oblasti PN přechodu jsou od sebe odděleny elektrickým polem $\vec{E}$ mezi vázanými prostorovými náboji, díry jsou urychleny

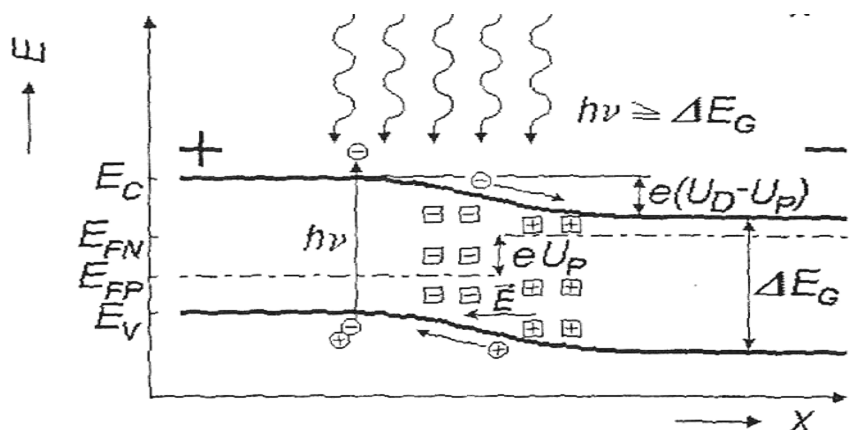
ve směru pole, elektrony opačně. mezi opačnými poly PV článku se objeví elektrické napětí a po zapojení do elektrického obvodu teče obvodem stejnosměrný elektrický proud. PV článek se tak stává zdrojem elektrické energie. [7]

Obrázek 3.4 Schéma energetických hladin [7]



Popsanou situaci znázorňuje obrázek 3.4, kde je vidět vyrovnaní Fermiho energie a ohyb pásů u přechodu PN v neosvětleném PV článku. Jsou zde znázorněny i rekombinační a termální proudy v rovnovážném stavu a rovněž jsou vyznačeny oblasti prostorového náboje a difúzní napětí U_D . Ve tmě se PV článek chová jako polovodičová dioda. Na obrázku 3.5 je znázorněna situace při osvětlení PV článku, který není zapojen v elektrickém obvodu. [7]

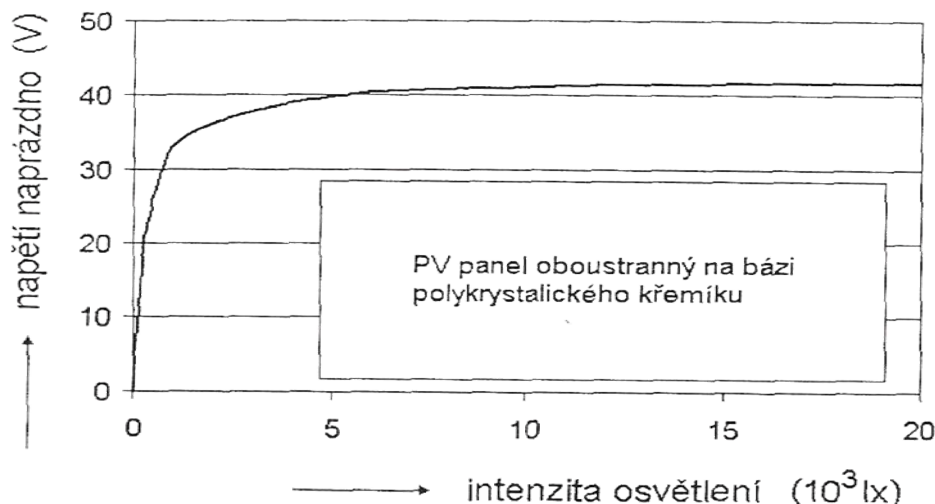
Obrázek 3.5 Schéma energetických hladin [7]



Dopadající fotony poruší rovnováhu nebo lépe řečeno ustaví jinou rovnováhu. Zvýší se generace elektron-díra, v oblasti PN přechodu jsou generované elektrony a díry urychlovány v elektrickém poli ve směru šipek. (v závěrném směru to odpovídá proudu tekoucímu zdrojem od záporného ke kladnému polu). Strana typu P se nabíjí kladně a strana typu N záporně. Potenciálová bariéra U_D se sníží, Fermiho hladiny v oblastech typu P a N se rozdělí a rozdíl mezi nimi odpovídá fotovoltaickému napětí U_P , které je rovněž vyznačeno. Toto napětí může maximálně odpovídat vyrovnaní původního zakřivení pásů, což u křemíkových PV článků bývá kolem $U_P \approx 0,6$ V. Další zvýšení intenzity ozáření PV článku už fotovoltaické napětí naprázdno nezvýší, jak je vidět na obrázku 3.4 neboť fotovoltaické napětí se vykompenzuje s opačným napětím prostorových nábojů na přechodu PN a už nedochází k oddělování směru

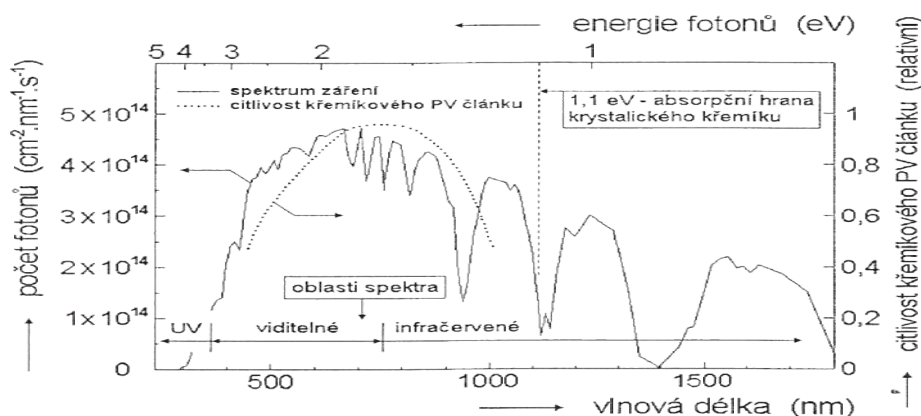
pohybu generovaných elektronů a děr v oblasti PN přechodu. Problém lze chápat i tak, že snížení potenciálové bariéry U_D při osvětlení vede ke zvýšení rekombinačního toku elektronů do polovodiče typu P a rekombinačního toku děr opačně a tak se kompenzuje zvýšení difúzního proudu důsledku oddělování generovaných elektronů a děr v elektrickém poli mezi vázanými prostorovými náboji v oblasti přechodu PN. Vzniklé fotovoltaické napětí se tak podílí na ustavení nové rovnováhy. [7]

Obrázek 3.4 Závislost napětí na prázdko při různé intenzitě osvětlení [7]



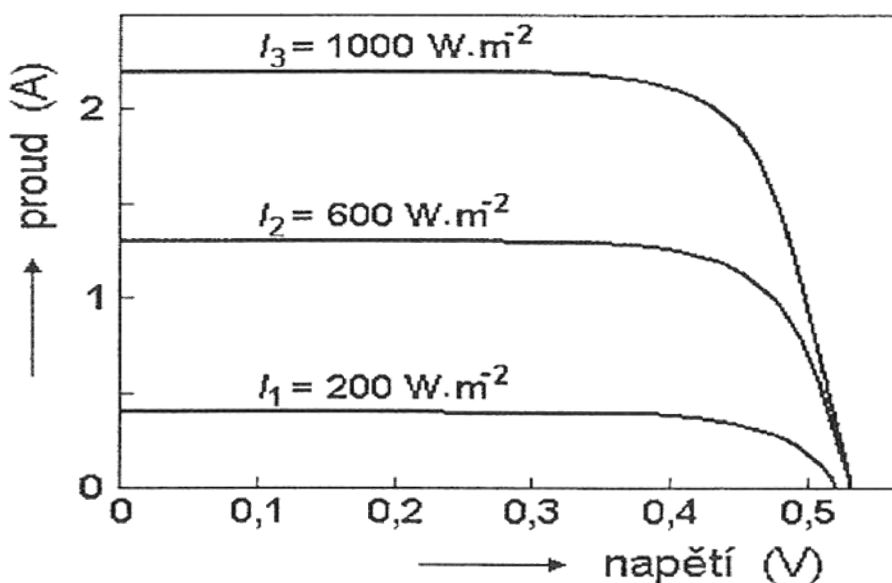
Zapojíme-li osvětlený PV článek do elektrického obvodu, vodivé spojení obou polů znamená snížení fotovoltaického napětí a tím i změnu zakřivení pásů vedoucí k opětovnému zvýšení potenciálové bariéry $U_D - U_p$. Tím se sníží rekombinační proud a převládne proud termální v důsledku oddělení generovaných elektronů a děr v elektrickém poli mezi vázanými prostorovými náboji. Součet obou proudů už nebude nulový a výsledný proud bude dodáván do elektrického obvodu PV článkem jakožto zdroj. Protože šířka zakázaného pásu u křemíku je 1,1 eV jsou krystalické křemíkové PV články citlivé na fotony viditelného a blízkého infračerveného záření s vlnovými délkami λ kolem 1100 nm. [7]

Obrázek 3.5 Spektrum slunečního záření [7]



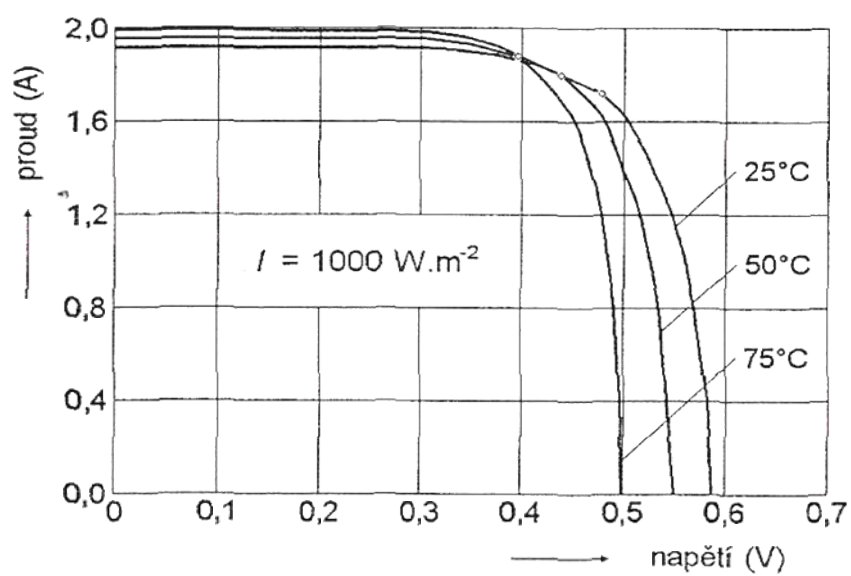
Na obrázku 3.5 je znázorněno spektrum slunečního záření po průchodu atmosférou s vyznačením vlnových délek a energií fotonů i s vyznačením šířky zakázaného pásu křemíku neboli absorpční hrany. Na obrázku 3.6 jsou volt-ampérové charakteristiky osvětleného PV článku na bázi krystalického křemíku zapojeného do elektrického obvodu. Jednotlivé křivky odpovídají různým intenzitám osvětlení. Průsečíky křivek se svislou osou udávají proud nakrátko, odpovídají tedy “nulovému” odporu ve vnějším obvodu neboli zkratování obou polů PV článku. Roste-li odpor zátěže, pohybujeme se po těchto křivkách směrem rostoucího napětí (doprava). Průsečíky s vodorovnou osou udávají napětí naprázdno, odpovídají tedy “nekonečnému” odporu ve vnějším obvodu neboli rozpojení obvodu. Optimální zátěž PV článku má takový odpor, při kterém pracovní bod leží v tom bodě volt-ampérové charakteristiky, ve kterém součin napětí a proudu má největší hodnotu. (Obdélník daný osami a pracovním bodem na křivce má největší plochu). Tehdy článek poskytuje největší výkon. [7]

Obrázek 3.6 $V - A$ charakteristika PV článku při konstantní teplotě [7]



Obrázek 3.7 ukazuje, jak se volt-ampérová charakteristika osvětleného PV článku na bázi krystalického křemíku mění s teplotou při konstantní intenzitě osvětlení. Je vidět, že s rostoucí teplotou roste proud nakrátko, ale klesá napětí naprázdno. Optimální pracovní body jsou znázorněny kolečkem. Při rostoucí teplotě klesá maximální výkon dodávaný PV článkem při konstantní intenzitě osvětlení a tak klesá i účinnost fotovoltaické přeměny. [7]

Obrázek 3.7 V-A charakteristika osvětleného článku při různé teplotě [7]



4 NÁVRH SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNY V PODMÍNKÁCH ČR

4.1 Výběr vhodných lokalit a zásady pro dimenzování

Aby sluneční systémy v ČR pracovaly co nejlépe, je třeba brát v úvahu výběr vhodných lokalit a také znát základní zásady pro jejich dimenzování. Pro správné dimenzování je nutné si uvědomit tyto věci:

- počet hodin slunečního svitu a intenzita slunečního záření, která se mění podle znečištění atmosféry (město, venkov, hory),
- chod ročních venkovních teplot, větru či jiných nepříznivých meteorologických jevů, zejména námrazy, ty určují tepelné ztráty kolektorů,
- panely mají se vzrůstající teplotou horší účinnost, optimální úhel je vesměs cca 1-2° na jihovýchod)
- sklon fotovoltaických článků, pro celoroční provoz může být 30 až 60° vzhledem k vodorovné rovině, při preferenci výhradně letního provozu 30°, u zimního provozu je výhodnější sklon 60°, (u velké elektrárny je optimální celoroční náklon cca 34-36°)
- množství stínících překážek, ideální je celodenní osvit Sluncem, ani krátkodobé každodenní zastínění není přípustné, vliv každodenního zastínění i části pole řekněme na hodinu dopoledne má za následek ztráty cca 4,5% celoroční energie.
- délka kabelových rozvodů, by měla být co nejkratší.
- možnost umístění - únosnost střechy, pokud nedostačuje, nebo není správně orientovaná, lze využít i štítovou stěnu, střechu garáže, přístavku, pergoly.

4.2 Návrh komponentů a výpočet

Fotovoltaická elektrárna je navrhována pro lokalitu okolí města Litomyšl. Pro tuto lokalitu je průměrná hodnota slunečního záření na 1 m² uvedena v tabulce 4.1. Pro určení množství záření dopadající v dané lokalitě na m² byla použita aplikace PVGIS dostupné z <http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/pvest.php?lang=sk&map=europe>.

Parametry elektrárny jsou navrženy a vypočítány pro výkon 400 kWp.

4.2.1 Hlavní části PV elektrárny

4.2.1.1 Fotovoltaické panely

Výrobce:	Solartec
Typ:	SG 170 5Z
Počet kusů:	2400

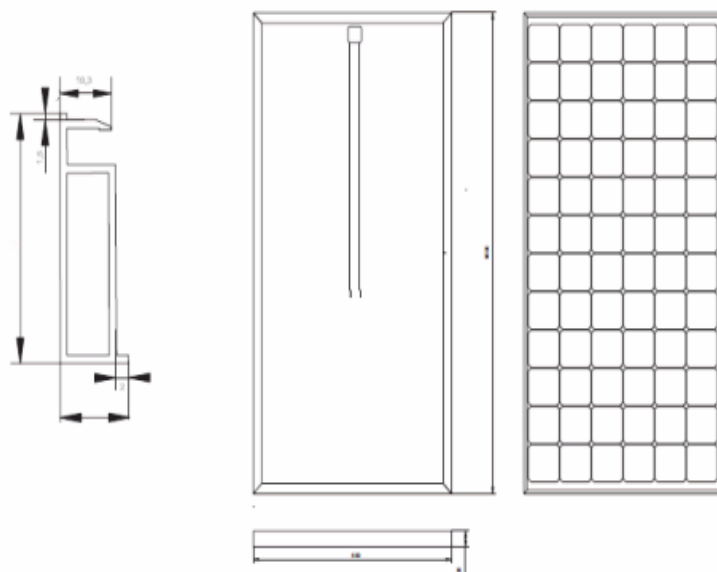
Mechanické parametry

Délka :	1637 mm
Šířka :	855 mm
Tloušťka :	35 mm
Hmotnost :	17 kg
Zapouzdření článků :	EVA folie

Elektrické parametry

Maximální výkon :	170 Wp
Optimální napětí U_{mpp} :	36,50 V
Napětí naprázdno U_{oc} :	44,0 V
Proud nakrátko I_{sc} :	4,9 A
Optimální proud I_{mpp} :	4,78 A
Max. systémové napětí :	850 V
Účinnost panelu	15 - 16%

Obrázek 4.1 Fotovoltaický panel SG 170 5Z [9]



4.2.1.2 Invertory

Výrobce :	SolarMax
Typ:	SolarMax 20C
Počet kusů :	20

Parametry:

Maximální DC vstup:	24 kW
Maximální AC výstup:	22 kW
Normální výstup:	20 kW
Max. účinnost :	96%
Evropská účinnost:	94,6%
Min. napětí U_{mpp} :	430 V
Max. napětí U_{mpp} :	800 V
Max. DC napětí:	900 V
Max. DC proud:	48 A
Rozměry:	57x57x117 cm
Váha	275 kg

4.2.1.3 Transformátor

Výrobce:	ELIN
Typ:	0,4/22 kV

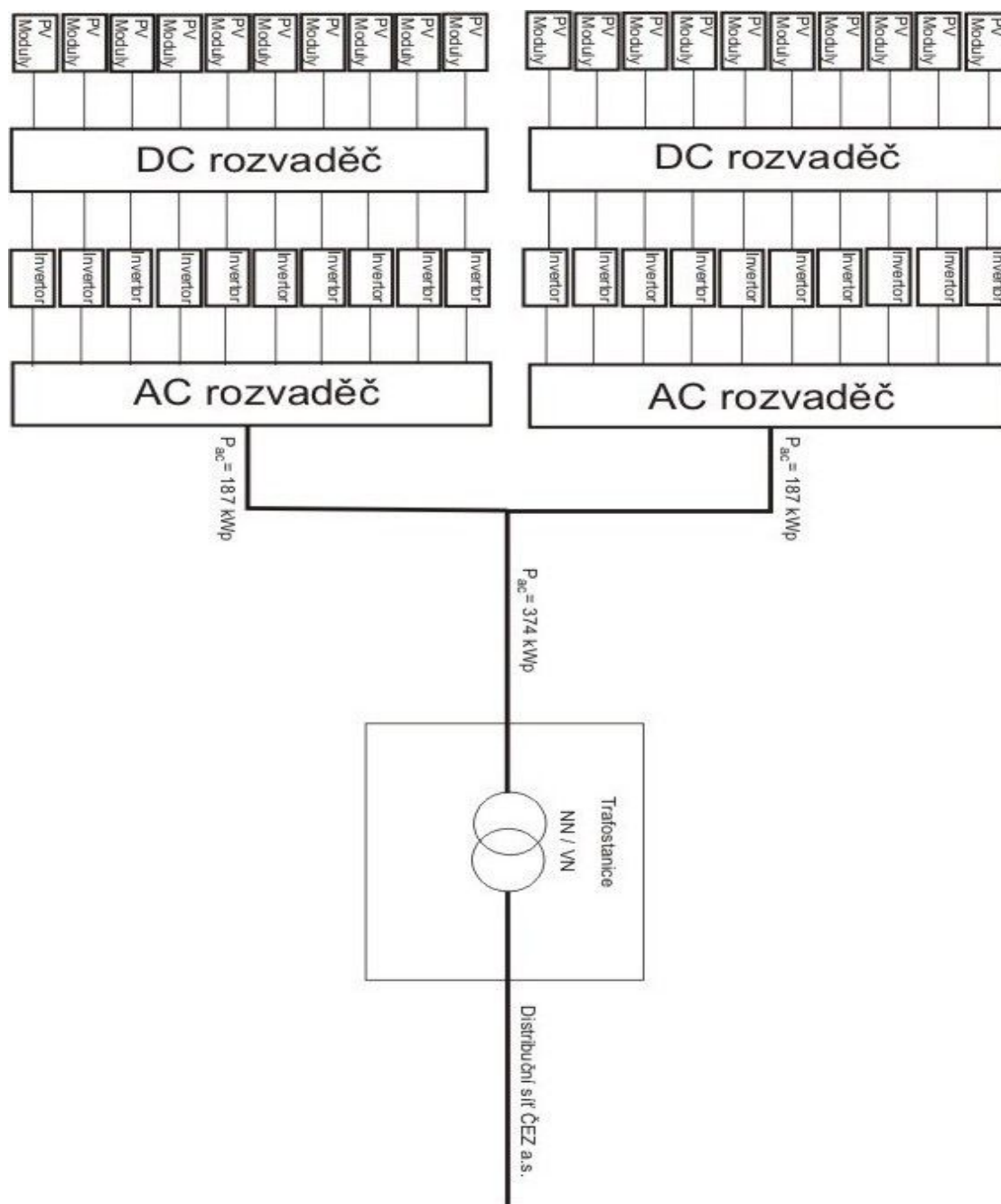
Parametry:

Převod:	22/0,4 kV
jmenovitý výkon S_n	400 kVA
ztráty na prázdno P_0	530 W
ztráty nakrátko P_k	4700 W
napětí nakrátko u_k	4%
hlad akustického tlaku L_{pA}	55 dB
kmitočet	50Hz
spojení vinutí	Dyn1

4.2.2 Plošné rozdělení článků

Pro výkon 400 kWp bude potřeba 2400 panelů. Zpojení bude sérioparalelní v kombinaci 20 x 3 panely (tj. 20 panelů v sérii a tyto série v 3 paralelních řadách). Celková plocha článků bude 3360 m² Na vstup invertoru bude přiváděn výkon z 2 sérioparalelních kombinací panelů s maximálním výkonem 20,4 kWp, se vstupním napětím $U_{mpp}=730\text{ V}$ a vstupním proudem $I_{mpp}=28,68\text{ A}$ do jednoho invertoru. Celkem tedy bude v obvodu řazeno paralelně 20 invertorů. Blokové schéma zapojení je na obrázku 4.2.

Obrázek 4.2 Blokové schéma zapojení PV elektrárny



4.2.3 Výpočty parametrů PV elektrárny

4.2.3.1 Stanovení orientačního množství vyrobené elektrické energie

Hodnoty zadávané do aplikace PVGIS:

- Výkon: 400 kWp
- Materiál PV modulů: krystalický křemík
- Ztráty v systému (měniče, kabeláž): 12 %

Hodnoty generované aplikací PVGIS:

- Odhadované ztráty vlivem teploty: 6,6 % (s použitím databáze teplot)
- Odhadované ztráty vlivem uhlové odrazivosti: 3,0 %

Tabulka 4-1 Úhrn vyzářené energie během roku

	2 - osý sledovací systém	
	Měsíční produkce	Denní produkce
	kWh	kWh
Leden	14411	465
Únor	22895	818
Březen	37259	1202
Duben	49971	1666
Květen	62703	2023
Červen	57308	1910
Červenec	64550	2082
Srpen	56717	1830
Září	39310	1310
Říjen	34920	1126
Listopad	13670	456
Prosinec	10082	325
CELKEM	463797	

Celková vyrobená energie dvouosým systémem je 463 797 kWh.

4.2.3.2 Výpočet zdánlivého výkonu transformátoru

Účinnost DC/AC převodu invertoru

$$\eta = \frac{MaxAC}{MaxDC} = \frac{22kW}{24kW} = 0,916 \quad (4.1)$$

Činný výkon z jednoho invertoru

$$P_{AC} = 20,4 * 0,916 = 18,68 \text{ kW} \quad (4.2)$$

Činný výkon celého obvodu

$$P_C = 20 * P_{AC} = 373,728 \text{ kW} \quad (4.3)$$

Zdánlivý výkon transformátoru pak bude při účinníku $\cos\varphi = 0,98$

$$S = \frac{P_C}{\cos\varphi} = \frac{373,728}{0,98} = 381,355 \text{ kVA} \quad (4.4)$$

5 ZAČLENĚNÍ SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNY DO ELEKTRIZAČNÍ SÍTĚ ČR

5.1 Připojení zdrojů do Distribuční sítě

Fotovoltaická elektrárna stejně jako všechny zdroje elektrické energie jsou k distribuční síti připojovány paralelně tj. pracují paralelně se sítí. Fotovoltaické elektrárny menších výkonů, které jsou umísťovány většinou na rodinné domy, bývají připojeny do sítě přes vhodné místo vlastních rozvodů objektu s měřením čisté výroby. Tato vyrobená energie z obnovitelných zdrojů energie je podporována zelenými bonusy. Ve většině případů je i v předacím místě osazeno měřicí zařízení pro měření elektrické energie dodané do distribuční sítě. Tato energie, která je dodávána do distribuční sítě je vykupována distributorem za tržní cenu. V případě fotovoltaických elektráren větších výkonů, které nejsou součástí žádných objektů je fotovoltaická elektrárna připojována přímo na distribuční síť přes transformátor 22/0,4 kV. V těchto případech se využívá podpory výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů pevnou výkupní cenou. Doba pevné výkupní ceny je na rok 2008 stanovena na 20 let.

5.1.1 Podmínky připojení fotovoltaické elektrárny na distribuční síť

- Projekt musí být realizován na území České republiky mimo území hl. m. Prahy.
- Žadatel musí jednoznačně prokázat vlastnická nebo jiná práva k nemovitostem a pozemkům, kde bude projekt realizován. Způsob a požadovaný termín prokázání těchto vlastnických nebo jiných práv specifikuje Správce programu v příslušné výzvě.
- Projekt musí obsahovat všechny povinné součásti uvedené ve výzvě k jeho předložení.
- Technická konzultace – Slouží jako ekonomické a technické posouzení záměru žadatelem, není závazná a nevzniká rezervace přenosové kapacity distribuční sítě.

- Žádost o připojení – Podává každý žadatel o připojení elektrického zdroje k distribuční síti. Do formuláře vyplní tyto údaje:
 - identifikační údaje žadatele
 - lokalitu
 - specifikaci odběrového místa (číslo elektroměru, příkon při odstavení zdroje)
 - souhlas vlastníka nemovitosti
 - souhlas obce s umístěním zdroje v katastrálním území
 - termín připojení
 - instalovaný výkon
 - typ elektrického zdroje
 - jmenovité napětí zdroje
 - zkušební protokoly pro invertory a měniče frekvence
 - způsob připojení
 - přehledové schéma el. zdroje

- Stanoviska k žádosti – v době platnosti je požadováno předložení projektové dokumentace.

Změna podmínek žádosti je možná když

- změna technologie elektrického zdroje při zachování druhu zdroje a při nepřekročení původního maxima výkonu.
- prokazatelné technické snížení celkového výkonu elektrické energie
- lokální změna místa připojení k distribuční síti při zachování umístění výroby
- malá změna umístění výroby při zachování místa připojení

Změna podmínek žádosti není možná když:

- navýšení původně odsouhlaseného výkonu
- výraznější změna umístění výroby
- větší změna místa připojení

- Projektová dokumentace

Musí obsahovat:

- způsob napojení na distribuční síť, včetně průřezů, hodnot jistištění a navrhovaného provedení obchodního měření

- situační a schématický výkres se zakresleným vyvedením výkonu od zdrojového soustrojí po předávací místo.
 - Podrobný popis použitých ochran, silové části elektro, místa pro obchodní měření
 - Popis elektrického zdroje obsahující příslušné el.hodnoty
 - Způsob zajištění vlastní spotřeby
- Uvedení zdroje do provozu
 - Oživovací provoz – před připojením zdroje pracujícího paralelně s distribuční sítí požádá provozovatel o povolení tzv. oživovacího provozu (měření elektromagnetické kompatibility daného zdroje s distribuční sítí, oživení celé soustavy)
 - Ověřovací provoz - před uvedením elektrického zdroje do trvalého provozu musí být proveden ověřovací provoz za účasti odpovědných pracovníků distributora.

[13]

6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

6.1 Obecné zhodnocení

K ekonomickému zhodnocení projektu je nutné si stanovit náklady na výstavbu fotovoltaické elektrárny jako celek, do kterého patří:

- výkup pozemku
- vybudování příjezdové komunikace (pokud je potřeba)
- ceny za fotovoltaické moduly, invertory, transformátor a další potřebné části

Dále je nutné znát pevnou výkupní cenu energie z obnovitelných zdrojů a dotace na výrobu elektrické energie z obnovitelných zdrojů.

Ceny jednotlivých dílů:

- moduly 18 737,11 Kč / kus
- invertory 331 082 Kč / kus
- transformátor 352 000 Kč
- systém Traxle 42 168 Kč / kus

Modulů bude zapotřebí 2400 kusů, tj. 44 969 064 Kč.

Invertorů bude potřeba 20 kusů, tj. 6 621 640 Kč.

Systému Traxle bude potřeba 135 kusů, tj. 5 692 680 Kč.

Náklady na tyto části budou dohromady 57 283 384 Kč.

Příjem za odprodej elektrické energie distributorovi bude 6 242 707 Kč / rok

6.2 Zhodnocení metodou čisté současné hodnoty

Metoda čisté současné hodnoty (NPV) vyjadřuje rozdíl mezi současnou hodnotou očekávaných příjmů a výdajů na investici. Tato investice je zařazena do skupiny s rovnoměrnými odpisy. Elektrárna jako taková spadá do odpisové skupiny 4 „energetická díla“. Investor bude plátcem DPH a proto je ekonomické hodnocení uváděno bez DPH. Počítá se s růstem inflace o 2,5% ročně, plat údržby poroste o 2,5% ročně. Snižování výkonu článků vlivem stárnutí je 0,5% s údržbou článků.

Zadání vstupních hodnot:

investiční náklady $K_i = 57\,283\,384$ Kč s DPH

životnost = 25 let

doba hodnocení = 25 let

roční vyrobená energie $V_e = 463\,797$ kWh

provozní náklady = 100 000 Kč / rok

požadovaná výnosnost = 10 % / rok

roční úrokové procento = 5 %

daň ze zisku = 15 % / rok

výkupní cena $C_e = 13,46$ Kč/ kWh

ROS 1 = 2,15 % / rok

ROS 2 = 5,15 % / rok

Průměrná výše inflace = 2,5%

Doba osvobození od daně z příjmu = 5 let

Výpočty:**1. rok**

Cena za odprodej elektřiny:

$$T = V_e \cdot C_e = 463,797 \cdot 13,460 = \underline{\underline{6242707\text{Kč}}} \quad (6.1)$$

Náklady na provoz elektrárny

$$N_p = 100\,000 \text{ Kč}$$

Odpisy v 1. roce

$$N_{OD1} = K_i \cdot \frac{ROS1}{100} = 57283384 \cdot \frac{2,15}{100} = \underline{\underline{1231592\text{Kč}}} \quad (6.2)$$

Úroky z investice

$$N_{UR} = K_i \cdot \frac{P}{100} = 57283384 \cdot \frac{5}{100} = \underline{\underline{2864170\text{Kč}}} \quad (6.3)$$

Roční náklady odvozené z investičních nákladů

$$N_1 = N_p + N_{OD1} + N_{UR} = 100000 + 1231592 + 2864170 = \underline{\underline{4195761\text{Kč}}} \quad (6.4)$$

Čistý zisk

$$Z_c = T - N_1 = 6242707 - 4195761 = \underline{\underline{2046946\text{Kč}}} \quad (6.5)$$

Peněžní příjem

$$P_1 = Z_C + N_{OD1} = 2046946 + 1231592 = \underline{\underline{3278538Kč}} \quad (6.6)$$

Aktualizovaný peněžní příjem za 1. rok

$$P_1^A = \frac{P_1}{\left(1 + \frac{10}{100}\right)^1} = \frac{3278538}{1,1^1} = \underline{\underline{2980489Kč}} \quad (6.7)$$

2. rok

Náklady na provoz elektrárny

$$N_P = N_{P1} \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^n = 100000 \cdot 1,05^1 = \underline{\underline{105000Kč}} \quad (6.8)$$

Odpisy v 2. roce

$$N_{OD2} = K_i \cdot \frac{ROS}{100} = 57283384 \cdot \frac{5,15}{100} = \underline{\underline{2950095Kč}} \quad (6.9)$$

Úroky z investice

$$N_{UR} = K_i \cdot \frac{p}{100} = 57283384 \cdot \frac{5}{100} = \underline{\underline{2864170Kč}} \quad (6.10)$$

Roční náklady odvozené z investičních nákladů

$$N_2 = N_P + N_{OD2} + N_{UR} = 105000 + 2950095 + 2864170 = \underline{\underline{5919265Kč}} \quad (6.11)$$

Cena za odprodej elektřiny v 2.roce

$$T_2 = T - 0,005T = 6242707 - 0,005 \cdot 6242707 = 6211493Kč \quad (6.12)$$

Čistý zisk

$$Z_C = T_2 - N_2 = 6211493 - 5919264 = \underline{\underline{292230Kč}} \quad (6.13)$$

Peněžní příjem

$$P_2 = Z_C + N_{OD2} = 292230 + 2950095 = 3242325Kč \quad (6.14)$$

Aktualizovaný peněžní příjem za 2. rok

$$P_2^A = \frac{P_2}{\left(1 + \frac{10}{100}\right)^2} = \frac{3242325}{1,1^2} = \underline{\underline{2679606Kč}} \quad (6.15)$$

V dalších letech je výpočet stejný jako ve druhém roce, jen ve jmenovateli zlomku aktualizovaného peněžního příjmu se mění mocnitel podle roku, ve kterém počítáme peněžní příjem. A to v rozsahu 25 - ti let, tj životnost fotovoltaických článků. A náklady na údržbu se v každém roce zvedají o hodnotu inflace, a spolu s inflací se odvíjí i růst platu zaměstnance elektrárny. Každý rok se snižuje výkon vlivem stárnutí článků. Projekt je na 5 let osvobozen od daně z příjmu. Od 7. roku hodnocení je daň z příjmu 15 %.

Příjmy v dalších letech

3. rok $P_3^A = 2409804Kč$

15. rok $P_{15}^A = 660726Kč$

4. rok $P_4^A = 2166715Kč$

16. rok $P_{16}^A = 592171Kč$

5. rok $P_5^A = 1947047Kč$

17. rok $P_{17}^A = 530550Kč$

6. rok $P_6^A = 1749335Kč$

18. rok $P_{18}^A = 475172Kč$

7. rok $P_7^A = 1562771Kč$

19. rok $P_{19}^A = 425412Kč$

8. rok $P_8^A = 1406028Kč$

20. rok $P_{20}^A = 380708Kč$

9. rok $P_9^A = 1264803Kč$

21. rok $P_{21}^A = 340555Kč$

10. rok $P_{10}^A = 1137569Kč$

22. rok $P_{22}^A = 304495Kč$

11. rok $P_{11}^A = 1021002Kč$

23. rok $P_{23}^A = 272120Kč$

12. rok $P_{12}^A = 916125Kč$

24. rok $P_{24}^A = 243057Kč$

13. rok $P_{13}^A = 821804Kč$

25. rok $P_{25}^A = 216975Kč$

14. rok $P_{14}^A = 736986Kč$

Aktualizované příjmy celkem:

$P_C^A = 27242025Kč$

Stanovení výsledku čisté současné hodnoty:

$$NPV = P_C - K_i = 27242025 - 57283384 = \underline{\underline{-30041359Kč}} \quad (6.16)$$

Metoda čisté současné hodnoty je doplňována další metodou hodnotící ekonomickou výhodnost a ziskovost, tou je metoda indexu ziskovosti (PI). Je-li:

$PI > 1$ – Projekt je považován jako výhodný.

$PI < 1$ – Projekt je považován jako nevýhodný.

$$PI = \frac{P_C^A}{K_i} = \frac{27242025}{57283384} = 0,475 \quad (6.17)$$

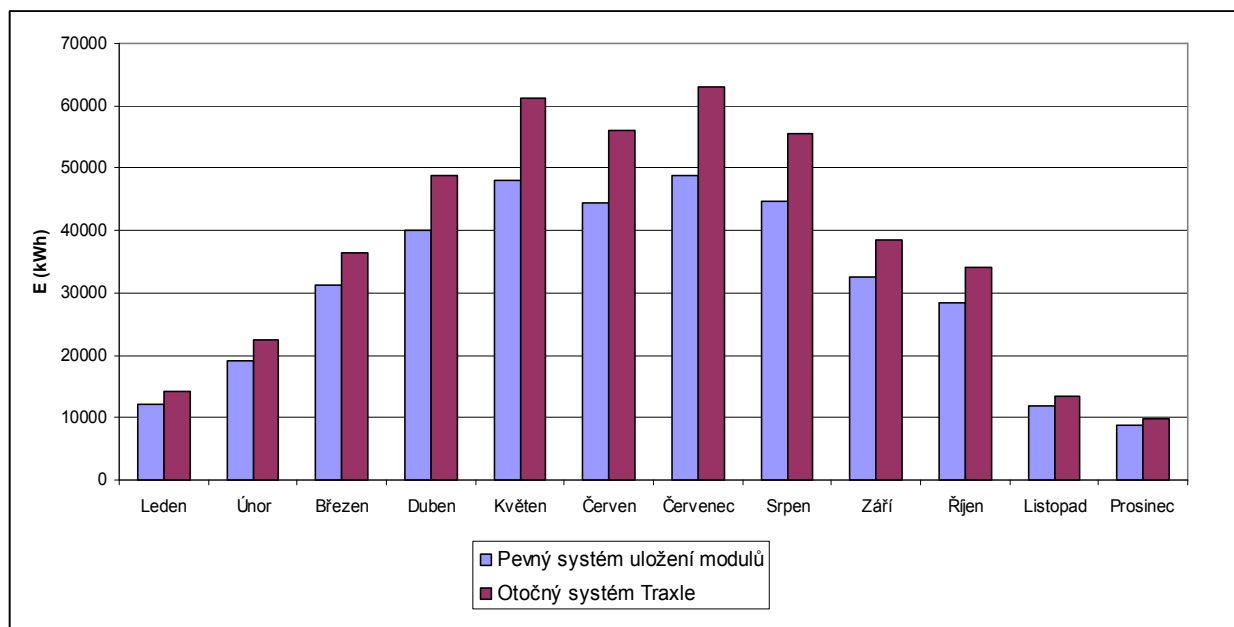
Projekt s jeví jako nevýhodný.

6.3 Porovnání pevného a otočného systému

V této kapitole bude porovnáno použití pevného systému modulů s dvouosým otočným systémem Traxle. Produkce z jednotlivých druhů systémů je uvedena v tabulce 6-3. Pro detailnější představu jsem vynesl grafickou závislost.

Tabulka 6-1. Množství energie vyrobené pevným a otočným systémem

	Pevné uložení, náklon 34°		2 - osý sledovací systém	
	Měsíční produkce	Denní produkce	Měsíční produkce	Denní produkce
	kWh	kWh	kWh	kWh
Leden	12103	390	14083	454
Únor	19057	681	22375	799
Březen	31182	1006	36413	1175
Duben	39958	1332	48835	1628
Květen	48044	1550	61278	1977
Červen	44420	1481	56006	1867
Červenec	48829	1575	63083	2035
Srpen	44596	1439	55428	1788
Září	32477	1083	38417	1281
Říjen	28303	913	34126	1101
Listopad	11885	396	13360	445
Prosinec	8698	281	9853	318
CELKEM	369552		453257	



7 ZÁVĚR

Bakalářská práce pojednává o fotovoltaice na území ČR a možnosti jejího využití. V teoretické části je popsán stav výroby elektrické energie ze slunce na našem území. Nejlepší podmínky pro výstavbu fotovoltaických elektráren jsou na jihu území ČR, a to v kraji Jihomoravském a Jihočeském. Instalovaný výkon na území ČR v současné době překonal hranici 5 MWp, o kterou se nejvíce postaraly nové fotovoltaické elektrárny Bušanovice I a II, nacházející se v Jihočeském kraji.

Návrh jako takový je začleněn do okolí města Litomyšl, které se rozkládá v nadmořské výšce 320 – 370 m n.m. v takzvané Loučenské tabuli. Podmínky pro výrobu elektrické energie ze slunečního záření jsou zde také dobré, je zde dopad slunečního záření v hodnotách asi 3700 -3800 MJ / m² za období jednoho roku. Tato hodnota je samozřejmě brána jako průměrná. Zdejší krajina disponuje množstvím vhodných míst pro realizaci fotovoltaické elektrárny.

Použit by měl být dvouosý otočný systém Traxle na uložení modulů, s nímž dosáhne elektrárna většího vyrobeného množství elektrické energie a to až o 20% (hodnota pro celkové vyrobené množství). Pro ukázkou je v ekonomickém zhodnocení tabulka s množstvím vyrobené energie pro oba systémy a graf, ze kterého je zřejmý rozdíl mezi oběma systémy. Největší rozdíly v množství vyrobené energie nastává v letních měsících, kdy rozdíl množství vyrobené energie činí až 22%. Dvouosý systém traxle je vybaven blokováním převodovky před větrem a je schopen odolat větru o rychlosti až 160 km/h. A to by mělo vyhovovat zdejším podmínkám mírně zvlněné krajiny, kde poryv větru bude menší než na rovinatém území. Na otočný systém budou namontovány fotovoltaické moduly české výroby a to od výrobce SOLARTEC z výrobní řady pamelů SG, které mají vysokou účinnost a montáž je rychlejší a snadnější.

V ekonomickém zhodnocení je celý projekt vyhodnocen metodou čisté současné hodnoty a indexem ziskovosti. Bez dotací, a použití financí z vlastních zdrojů investora bude projekt nevýhodný. Do ekonomiky projektu nejsou zahrnuty některé finanční položky, např. na odkup pozemků potřebných pro výstavbu samotné elektrárny, na vybudování zázemí pro obsluhu a příjezdových komunikací. Ale při umístění elektrárny poblíž komunikací je šance, že by příjezdová cesta nemusela být tak dlouhá a tím ani nákladná. Dále nejsou zohledněny práce na instalaci elektrárny. Projekt je osvobozen od daně z příjmu a to na dobu 5 let od roku, ve kterém se zahájil provoz, tj. když se elektrárna spustí v únoru 2009, tak osvobození od daně z příjmu bude platné až do roku 2015. V dalších letech bude odváděna daň z příjmu a to ve výši 15 %.

Obnovitelné zdroje se staví z důvodu, šetření životního prostředí a úspory fosilních paliv, jejichž zásoby nejsou nevyčerpatelné. Mezi výhody fotovoltaických elektráren patří bez pochyby téměř bezúdržbový provoz, kromě provozu je další výhodou i snadná montáž modulů na nosné konstrukce. K plusu patří i snižující se ceny zařízení potřebných na realizaci

fotovoltaických elektráren. Co se týká snížení emisí CO_2 , jsou zde dva aspekty fotovoltaiky a to, že fotovoltaický systém sice generuje čistou energii, ale na druhou stranu se musí zvážit i vliv výroby článků z křemíku. Výrobou vzniká během chemických reakcí vedle čistého křemíku i další vedlejší produkt chemické reakce, jak je např. chlorovodík.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] VERMOS s.r.o.Dostupné z: <<http://www.vermos.cz>>

- [2] LADENER HEINZ. SPÄTE FRANK. Solární zařízení.Praha: Grada Publishing a.s.,2003

- [3] Portál TZB. Dostupné z:<<http://www.tzb-info.cz>>

- [4] Poulek Solar.Dostupné z:<<http://www.solar-trackers.com/sledovace.htm>>

- [5] Murtinger K,Beranovský J,Tomeš M.,Fotovoltaika - elektřina ze slunce.
Praha:ERA,2007
- [6] KRIEG BERNARD.Elektřina ze Slunce.Ostrava:Nakladatelství HEL.1993

- [7] LIBRA MARTIN.Solární energie.Praha:ČZU 2005

- [8] EKOLIST.Deník o životním prostředí.Dostupné z: <<http://www.ekolist.cz>>

- [9] SOLARTEC.Výrobce solárních panelů.Dostupné z WWW: <<http://www.solartec.cz>>

- [10] Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů. Dostupne z:<<http://www.spvez.cz/> >

- [11] SolarMax.Výrobce invertorů.Dostupné z :<<http://www.solarmax.de/> >

- [12] VČE Transformátory s.r.o.Výroba a opravy transformátorů, filtrace olejů,kusová výroba
Dostupné z :<<http://www.vcetranfotmátory.cz/>>

- [13] Připojování zdrojů k elektrizační síti EON. Dostupné z: :<<http://www.eon.cz/>>