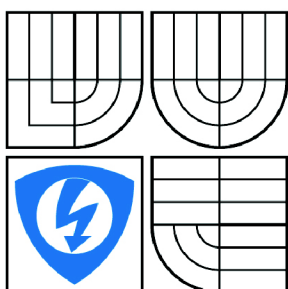


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

FOTOVOLTAICKÉ PANELE NOVÉ GENERACE

PHOTOVOLTAIC PANELS OF NEW GENERATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

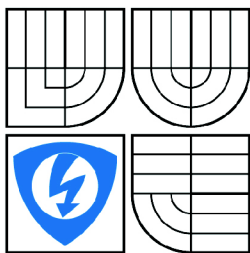
MICHAL LOVEČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR MASTNÝ, Ph.D.

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Michal Loveček

ID: 73007

Ročník: 3

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Fotovoltaické panely nové generace

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. zmapování současného stavu v oblasti využívání sluneční energie
2. typy fotovoltaických elektráren
3. nové technologie ve výrobě fotovoltaických panelů
4. návrh fotovoltaického systému
5. energetické a ekonomické hodnocení FV systému

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 1.6.2009

Vedoucí práce: 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: Michal Loveček

Bytem: Kobylí 586

Narozen/a (datum a místo): 1. 4. 1987

(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, CSc.

(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: Fotovoltaické panely nové generace

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Petr Mastný, Ph.D.

Ústav: Ústav elektroenergetiky

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

- tištěné formě – počet exemplářů
- elektronické formě – počet exemplářů

* 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:

.....

Nabyvatel

.....

Autor

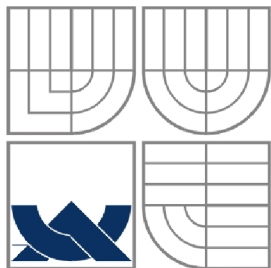
Bibliografická citace práce:

LOVEČEK, M. *Fotovoltaické panely nové generace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 58 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Mastný, Ph.D.

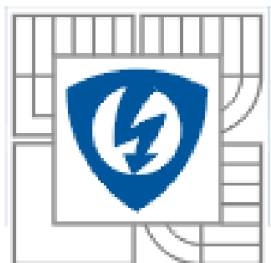
Prohlašuji, že jsem svou **diplomovou práci (bakalářskou práci)** vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Zároveň bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu 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.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

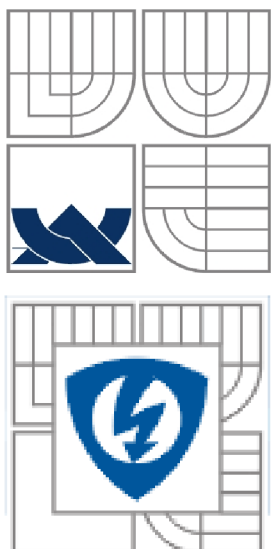
Fotovoltaické panely nové generace

Michal Loveček

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

Photovoltaic panels of new generation

by

Michal Loveček

**Supervisor: Ing. Petr Mastný, Ph.D.
Brno University of Technology, 2009**

Brno

ABSTRAKT

Bakalářská práce pojednává o možnosti využití fotovoltaické elektrárny na území ČR. V první části je popsán samotný princip fotovoltaické přeměny energie a přiblíženy jsou také možnosti zdroje záření, tedy Slunce. V další části jsou shrnuty dosavadní poznatky z technologie výroby FV článků a některé nové technologie z oblasti výzkumu. Dále je popsána funkce FV panelů a vliv jejich provedení na účinnost. V poslední části je uvedeno řešení návrhu konkrétního FV systému na rodinný dům v oblasti ČR včetně jeho zhodnocení.

KLÍČOVÁ SLOVA: panel; fotovoltaika; článek; návrh; Slunce; elektrárna

ABSTRACT

The Bachelor thesis deals with the possibilities how to take use of photovoltaic power stations situated in the Czech Republic. In the first part there is the procedure of photovoltaic energy conversion analyzed and the source of this energy described – Sun. The pieces of information about the technology of solar cells manufacturing and some new technologies recently developed by scientist are summed up in the following part. As next there is the function of photovoltaic arrays described as well as how the form of their construction affect their effectiveness. And last but not least the individual project of FV system for family house in Czech Republic with its evaluation is worked out.

KEY WORDS: panel; photovoltaics; cell; project; sun; power station

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	13
SEZNAM TABULEK	14
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	15
1 ÚVOD	17
2 CÍL PRÁCE	19
3 SLUNCE	19
4 HISTORIE FOTOVOLTAIKY	21
5 FYZIKÁLNÍ PODSTATA FOTOVOLTAICKÉ PŘEMĚNY ENERGIE	22
5.1 VLASTNÍ VODIVOST POLOVODIČE.....	22
5.2 PŘÍMĚSOVÉ (NEVLASTNÍ) POLOVODIČE	22
5.3 PN PŘECHOD	23
5.4 TEORIE FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ.....	24
5.5 ELEKTRICKÉ PARAMETRY FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU	27
6 TECHNOLOGIE, VÝVOJ A VÝROBA FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ	29
6.1 ZÁKLADNÍ TYPY FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ	29
6.2 VÝROBA FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ	30
6.3 VLIV TEPLoty NA ÚČINNOST FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ	33
7 FOTOVOLTAICKÉ PANELY	36
7.1 KONSTRUCE FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	36
7.2 VLIV PROVEDENÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ NA ÚČINNOST	37
7.3 KONCENTRÁTORY	39
8 INVERTOR	40
9 NÁVRH FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU 4,32 KWP	41
9.1 POPIS PODMÍNEK.....	41
9.2 JEDNOTLIVÉ KOMPONENTY FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU	42
9.2.1 FOTOVOLTAICKÉ MODULY	42
9.2.2 INVERTOR	44
9.2.3 ROZVADĚČ, KABELOVÉ ROZVODY A TRASY	45
9.2.4 HROMOSVOD A PŘEPĚŤOVÉ OCHRANY	45
9.3 SÉRIOPARALELNÍ ŘAZENÍ FV PANELŮ	48
9.4 BLOKOVÉ SCHÉMA FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU 4,32 KWP.....	50
10 ENERGETICKÉ A EKONOMICKÉ HODNOCENÍ FV SYSTÉMU	51
10.1 ODHAD VYROBENÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE Z FV SYSTÉMU	51
10.2 VÝPOČET DOBY NÁVRATNOSTI FV SYSTÉMU.....	52
DOBA NÁVRATNOSTI FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY 4.32 KWP NA RD V KOBYLÍ	53

11 ZÁVĚR.....	55
POUŽITÁ LITERATURA	57
POUŽITÉ INTERNETOVÉ ODKAZY.....	58

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr.1-1 Solární elektrárna s největší instalovanou kapacitou v Jumille v jihovýchodním Španělsku.....</i>	<i>17</i>
<i>Obr.1-2 Izokřivky průměrné roční solární energie dopadající na jednotku plochy vodorovného povrchu země v České republice (MWh/m²/rok).....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 5-1 Vlastní vodivost polovodiče.....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 5-2 Schematické znázornění struktury polovodiče typu N.....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 5-3 Schematické znázornění struktury polovodiče typu P.....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 5-4 PN přechod v rovnovážném stavu.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 5-5 Sluneční spektrum.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 5-6 Volt-ampérové charakteristiky (v prvním kvadrantu) osvětleného PV článku při různých intenzitách osvětlení při konstantní teplotě $t=50\text{ oC}$.....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 6-1 Křemíkové ignoty.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 6-2 Fotovoltaický článek z monokrystalického křemíku.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 6-3 Fotovoltaický článek z polykrystalického křemíku.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 6-4 Řez strukturou článku z amorfního křemíku.....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 6-5 Vliv teploty V-A charakteristiky fotovoltaických článků při $I = 1000\text{Wm}^{-2}$.....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 6-6 Průběh účinnosti testovaného FV článku v závislosti na jeho teplotě (0 až 100°C) a intenzitě dopadajícího záření (0 až 1000 W/m^2).....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 6-7 Hybridní panel.....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 6-8 Schematické znázornění struktury třívrstvého slunečního článku na bázi amorfního hydrogenovaného křemíku a slitin amorfního křemíku a germania.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 7-1 Konstrukce fotovoltaického panelu.....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 7-2 Idealizovaná závislost okamžitého výkonu dodávaného fotovoltaickými solárními systémy s pevnou a pohyblivou konstrukcí.....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 7-3 Sledovací systém TRAXLE.....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 7-4 1. Běžná čočka, 2. Fresnelova čočka.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 9-1 Profil rámu modulu SG-180-5Z.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 9-2 Rozměry modulu SG-180-5Z.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 9-3 Náčrt ochranného úhlu.....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 9-4 Orientační nákres hromosvodu.....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 9-5 Sérioparalelní řazení FV panelů.....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 9-6 Blokové schéma FV systému 4,32kWp na rodinný dům.....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 10-1 Odhad průměrného množství vyrobené el. energie.....</i>	<i>52</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 3-1 Některé důležité parametry slunce.....</i>	<i>20</i>
<i>Tab. 6-1 Účinnost jednotlivých typů FV článků. Zdroj: EkoWATT.....</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 9-1 Optimální hodnota náklonu FV modulů a teplota okolí.....</i>	<i>41</i>
<i>Tab. 9-2 Parametry použitého FV panelu Solartec SG-180-5Z.....</i>	<i>42</i>
<i>Tab. 9-3 Parametry použitého měniče Fronius IG 40.....</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 10-1 Odhad vyrobené elektrické energie z FV systému.....</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 10-2 Tabulka investičních nákladů.....</i>	<i>53</i>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

<u>Značka</u>	<u>Veličina</u>	<u>Značka jednotky</u>
DN	doba návratnosti	rok
e	náboj elektronu	eV
E_c	nejnižší hladina vodivostního pásu	%
EEF	účinnost FV článku	eV
ΔE_g	šířka zakázaného pásu	eV
E_v	nejvyšší hladina valenčního pásu	eV
FF	fill faktor	-
g_s	tíhové zrychlení na povrchu Slunce	$m.s^{-2}$
I	solární konstanta	$W.m^{-2}$
I	intenzita	$W.m^{-2}$
I	proud	A
$I_{DC\ INV}$	vstupní proud invertoru	A
I_f	fotoelektrický proud	A
I_m	proud při maximálním výkonu FV článku	A
I_s	nenасыený svodový proud v závěrném směru	A
I_{SC}	zkratový proud FV článku naprázdno	A
I_{svod}	svodový proud	A
I_{450}	proud tekoucí článkem při napětí 450mV	A
k	Boltzmanova konstanta	$J.K^{-1}$
k_i	koeficient pro výpočet min. vzdálenosti	-
k_c	koeficient pro výpočet min. vzdálenosti	-
k_m	koeficient pro výpočet min. vzdálenosti	-
m_s	hmotnost Slunce	kg
P	výkon	W
P_{AC}	výstupní výkon invertoru	W
P_S	výkon Slunce	W
P_m	maximální výkon FV článku	W
r_s	poloměr Slunce	m
R_{so}	sériový odpor FV článku	Ω
R_{sh}	paralelní odpor FV článku	Ω
R_{sz}	vzdálenost Země od Slunce	m

s	vzdálenost FV panelů od hromosvodu	m
T	absolutní teplota	K
T_s	efektivní teplota fotosféry	K
U	napětí	V
U_{OC}	napětí FV článku naprázdno	V
$U_{DC\ INV}$	vstupní napětí do invertoru	V
ΔW	potenciální rozdíl před a po osvětlení	J
γ	kvantový výtěžek	-
ϕ	zářivý tok	W
η	účinnost	%
κ	poměr počtu nosičů, které dospějí k přechodu k počtu, který vznikne absorpcí záření	-

ZKRATKY

AC	střídavý proud
DC	stejnoseměrný proud
ERÚ	Energetický regulační úřad
EVA	etylvinylacetát
FV	fotovoltaika
MPPT	Maximum power point tracking – sledování bodu maximálního výkonu
PET	polyetylenetereftalát
PPI	cenový index průmyslové výroby
PVF	polyvinylidenfluorid
PVGIS	fotovoltaický informační systém

1 ÚVOD

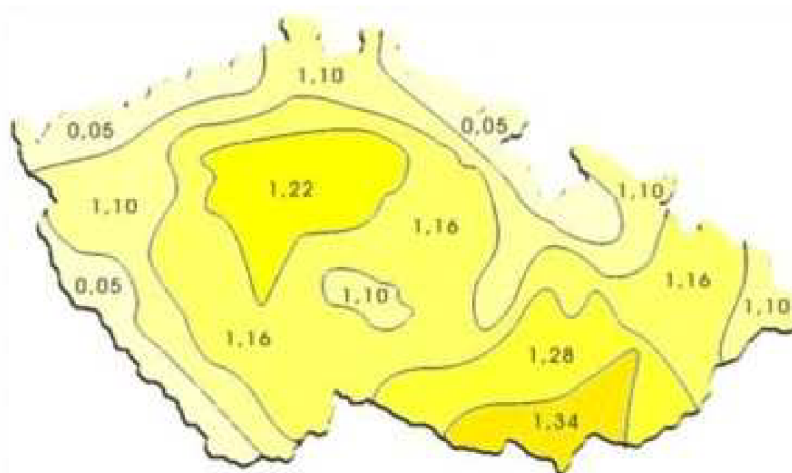
Zajištění elektrické energie pro lidstvo je stále více diskutovaným tématem. Neobnovitelné zdroje (ropa, uhlí, zemní plyn) nejen že neúměrně znečišťují životní prostředí, ale také se postupně vyčerpávají. Spalování fosilních paliv produkuje skleníkový plyn oxid uhličitý, jeho obsah v atmosféře se stále zvyšuje a má výrazný podíl na změnách klimatu. Například uhelná elektrárna s výkonem $P=1000\text{MW}$ zamoří zemskou atmosféru až 10^{10}kg oxidu uhličitého ročně. U jaderných elektráren zase vzniká problém s jaderným odpadem a podobně. Přitom při výrobě elektrické energie pomocí slunečního záření žádné škodlivé odpady nevznikají. Velkou pozornost a nemalé finanční prostředky věnuje využití sluneční energie Japonsko, které je průmyslovou velmocí s malými vlastními zdroji energie. Solární energie nekonkuruje velkým elektrárnám tepelným a jaderným. Zatím se uplatňují zejména jako doplňkový zdroj energie. Podíl výroby elektrické energie z FV elektráren ve světě má hodnotu asi 0,01%

Existují ale i velké sluneční elektrárny. Například v Jumille v jihovýchodním Španělsku byla v březnu roku 2008 spuštěna solární elektrárna s největší instalovanou kapacitou. Ročně by měla elektrárna o výkonu 20 MW generovat zisk 28 milionů dolarů a zredukovat emise o 40 000 tun oxidu uhličitého. Celková roční produkce postačí na zásobování elektřinou 20 000 domácností.(obr. 1-1)



Obr. 1-1 Solární elektrárna s největší instalovanou kapacitou v Jumille v jihovýchodním Španělsku

Situace v České republice je taková, že nejvíce slunečního záření dopadá na Jižní Moravě. Maximální denní hodnota v ČR za jasného červencového dne je $6,8 \text{ kW/m}^2/\text{den}$. Naopak nejméně slunečního záření dopadá v hraničních horách, kde je vyšší pravděpodobnost mlhy a horšího počasí.[1] Na obr. 1-2 jsou znázorněny hodnoty průměrné roční solární energie, která dopadá na vodorovný povrch země v České republice.



Obr.1-2 Izokřivky průměrné roční solární energie dopadající na jednotku plochy vodorovného povrchu země v České republice (MWh/m²/rok)

Zpráva o vývoji fotovoltaiky 2008 ve 12 nových členských státech Evropské unie včetně České republiky udává instalovaný výkon fotovoltaických elektráren v ČR, který má hodnotu k roku 2008 54,67 MW. Instalovaný výkon v ČR vzrostl od roku 2007 (kdy činil 5,36 MW) více než desetinásobně. Tento trend je způsoben dotační politikou v ČR, která tak reaguje na snahu Evropské unie zvýšit podíl vyrobené elektřiny z obnovitelných zdrojů. [16]

2 CÍL PRÁCE

Cílem práce je shrnout poznatky v oblasti vývoje fotovoltaiky, definovat možnosti využití fotovoltaických technologií v České republice. Dále navrhnout a zhodnotit FV systém v podmínkách ČR.

3 SLUNCE

Slunce je běžnou hvězdou, jakých je ve vesmíru mnoho. Vznikalo asi před 5 miliardami let z mlhoviny řídkých plynů a prachu. Postupně vlivem gravitačních sil docházelo ke smršťování mlhoviny a tak i k postupnému zahřívání. Teplota v centru pak dosáhla hranice, kdy může docházet k termonukleárním reakcím (k jaderné fúzi vodíku při teplotě cca $T = 10^7$ K). Ve slunečním jádru se tak začala uvolňovat jaderná energie. Postupně se vytvořila rovnováha mezi energií uvolněnou v jádru Slunce a energií, která je vyzářena z povrchu.

Výkon vyzařovaný ze Slunce je poměrně stabilní. Mění se jen minimálně v závislosti na sluneční aktivitě v jedenácti cyklech. Některé významné sluneční parametry jsou uvedeny v tabulce 3-1.

Pouze část výkonu, který je přenášen z povrchu Slunce dopadá na povrch Země.

$$\Delta P_s = \frac{\pi \cdot r_z^2}{4 \cdot \pi \cdot R_{zs}^2} \cdot P_s \approx 1,79 \cdot 10^{17} \text{ W} \quad (3.1)$$

Střední hodnota energie slunečního záření dopadající za jeden den na Zemi je:

$$W_z = \Delta P_s t \approx 1,79 \cdot 10^{17} \text{ J} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 86400 \text{ s} = 1,55 \cdot 10^{22} \text{ J} \quad (3.2)$$

Střední intenzita záření dopadající na jednotku plochy Země je

$$I = \frac{\Delta P_s}{\pi \cdot r_z^2} \approx 1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (3.3)$$

- Tato hodnota se nazývá solární konstanta. Část energie se od atmosféry odráží a část ji atmosféra pohltí. Proto na povrch země dopadá méně energie. Přesná hodnota závisí na zeměpisné šířce, meteorologických podmínkách a denní či roční době. Maximální intenzita na povrchu Země je cca $I_{\max} = 1100 \text{ Wm}^{-2}$. [1]

Tab. 3-1 Některé důležité parametry slunce

veličina	střední hodnota
poloměr Slunce	$r_s \approx 6,96 \cdot 10^8 \text{ m}$
hmotnost Slunce	$m_s = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
výkon Slunce	$P_s \approx 3,91 \cdot 10^{26} \text{ W}$
efektivní teplota fotosféry	$T_s \approx 5800 \text{ K}$
tíhové zrychlení na povrchu	$g_s \approx 274 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
vzdálenost Země od Slunce	$R_{sz} \approx 1,49 \cdot 10^{11} \text{ m}$
solární konstanta	$I = 1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

Slunce je největší zdroj energie ve sluneční soustavě a na Zemi všechna energie (mimo jaderné) pochází ze Slunce. Například ve fosilních palivech a v biomase je tato energie akumulovaná po fotosyntetické přeměně anorganických látek na organické.

4 HISTORIE FOTOVOLTAIKY

Za prvopočátek se považuje náhodný objev francouzského fyzika Alexandra Edmonda Becquerela, který při svých experimentech s kovovými elektrodami ponořenými v elektrolytu zjistil, že když je osvítil, začal procházet malý proud.

Další historické mezníky:

- 1877 – Adams a Day vytvořili první skutečný fotovoltaický článek s použitím selenu
- 1883 – Fritsovi první články už měli plochu 30 cm^2 a účinnost 1 %, jako první si uvědomoval obrovský potenciál tohoto zařízení
- 1946 – Russel S. Ohl z USA patentoval první FV článek
- 1954 – v Bellových laboratořích vyrobili FV články z křemíku dopovaného jiným prvkem (tedy články s P-N přechodem)
- 1957 – využití FV článků na umělých družicích, cena zde nehrála roli, protože prakticky nebyla jiná možnost, jak zajistit napájení telekomunikačních družic

Větší využití FV článků na zemi nastalo až po ropné krizi v sedmdesátých letech, kdy se začaly hledat cesty, jak se zbavit závislosti na ropě. Podstatný přínos zajistilo i masivní rozšíření křemíkových polovodičových součástek.[2]

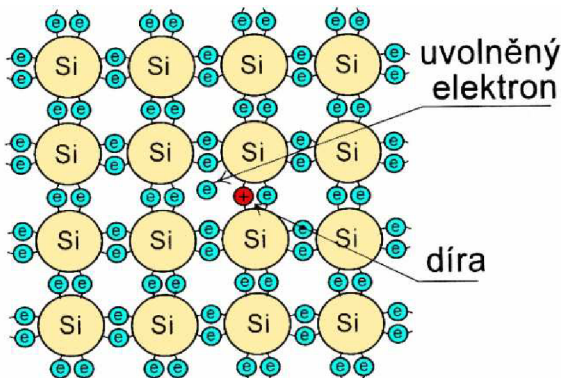
Můžeme říci, že nejmarkantnější vývoj v oblasti fotovoltaiky nastává v posledních 10 letech.

5 FYZIKÁLNÍ PODSTATA FOTOVOLTAICKÉ PŘEMĚNY ENERGIE

5.1 Vlastní vodivost polovodiče

Čisté polovodičové prvky (křemík, germanium) mají při teplotě absolutní nuly valenční elektrony pevně vázány ve valenční vrstvě – ustává tepelný vířivý pohyb atomů a krystal se chová jako izolant (má téměř nekonečný elektrický odpor)[7]. Nejvyšší energetická hladina valenčního pásu se označuje E_V , nejnižší hladinu vodivostního pásu zpravidla značíme E_C . Šířka zakázaného pásu je tedy $\Delta E_G = E_C - E_V$. Záření se za určitých podmínek chová, jako by bylo tvořeno proudem částic, které Albert Einstein nazval fotony[1]. Částice tepelné se nazývají fonony. Dodáním některého z těchto druhů energií překonají některé elektrony šířku zakázaného pásu a přejdou do pásu vodivostního. Valenční i vodivostní pás se tak stanou částečně obsazenými.

Na místě, kde vyskočil valenční elektron z vazby, vznikl nedostatek záporného náboje (přebytek kladného náboje), kterému říkáme díra. Vznik páru elektron-díra nazýváme generací. Díra a elektron vznikají současně. Pokud budeme dodávat energii nepřetržitě, bude se uvolňovat stále větší množství elektronů a vznikat více děr. Pohybující se volné elektrony jsou přitahovány dírami. Jestliže se elektron s dírou setkají, zaniknou a utvoří opět pevnou vazbu. Protože elektrony přeskakují z díry do díry, jeví se nám toto přeskakování i jako pohyb děr. Tento proces se nazývá rekombinací.[7]

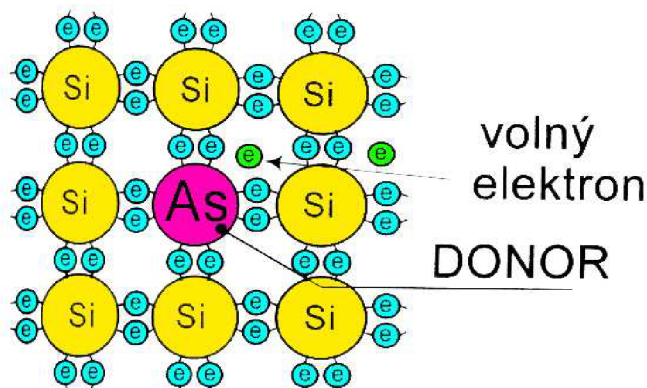


Obr. 5-1 Vlastní vodivost polovodiče

5.2 Příměsové (nevalstní) polovodiče

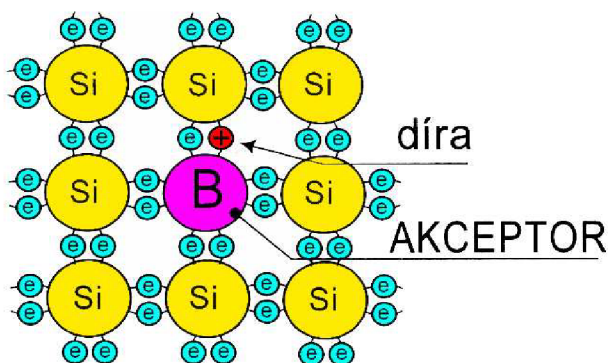
Podle typu nosiče náboje dělíme polovodiče na vlastní a příměsové. Příměsové polovodiče mohou být dopované typu N nebo typu P.

Přidáme-li do čistého čtyřmocného křemíku pětímocný prvek (fosfor, arsen nebo antimon), vznikne nám polovodič typu N. Prvku příměsí, který má o jeden elektron více, říkáme donor (dárce – daruje elektron) Obr 5-2[7]



Obr. 5-2 Schematické znázornění struktury polovodiče typu N

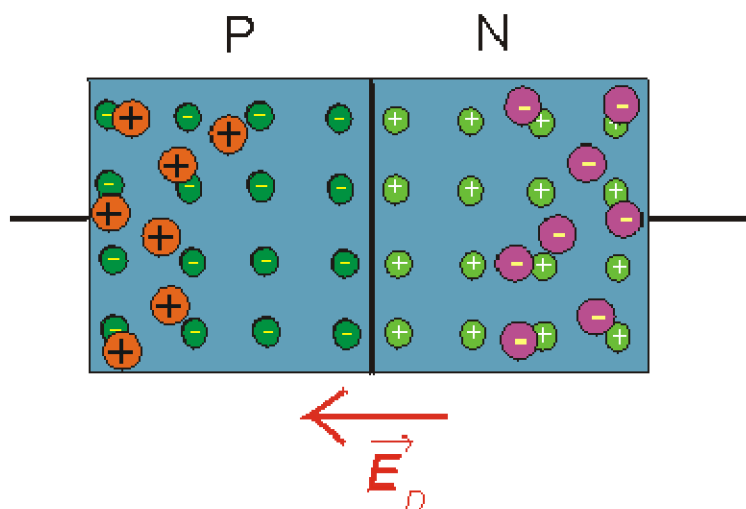
Budeme-li dotovat čistý čtyřmocný křemík trojmocným prvkem (bor, hliník nebo galium) vznikne nám polovodič typu P. Prvku příměsi, který má o jeden elektron méně, říkáme akceptor (příjemce – akceptuje do své valenční sféry jeden volný elektron uvolněný teplem). Obr. 5-3[7]



Obr. 5-3 Schematické znázornění struktury polovodiče typu P

5.3 PN přechod

Spojíme-li dohromady polovodič typu N a polovodič typu P, dojde k tomu, že ve snaze vyrovnat koncentrace difundují elektrony do části P a díry do části N. Pokaždé, když nastane kontakt elektronu s dírou, dojde k takzvané rekombinaci. Říkáme, že elektron zapadne do díry. Takový pohyb částic ale po chvíli skončí, protože v polovodiči typu N zůstanou po elektronu kladné náboje a po díře záporné v polovodiči P náboje záporné. Toto vzniklé elektrické pole zabrání svým účinem dalšímu přesunu a ustálí se. Výsledkem procesu je snížení vodivosti v oblasti P-N přechodu a vytvoří se elektrický potenciál.[1] viz. Obr. 5-4

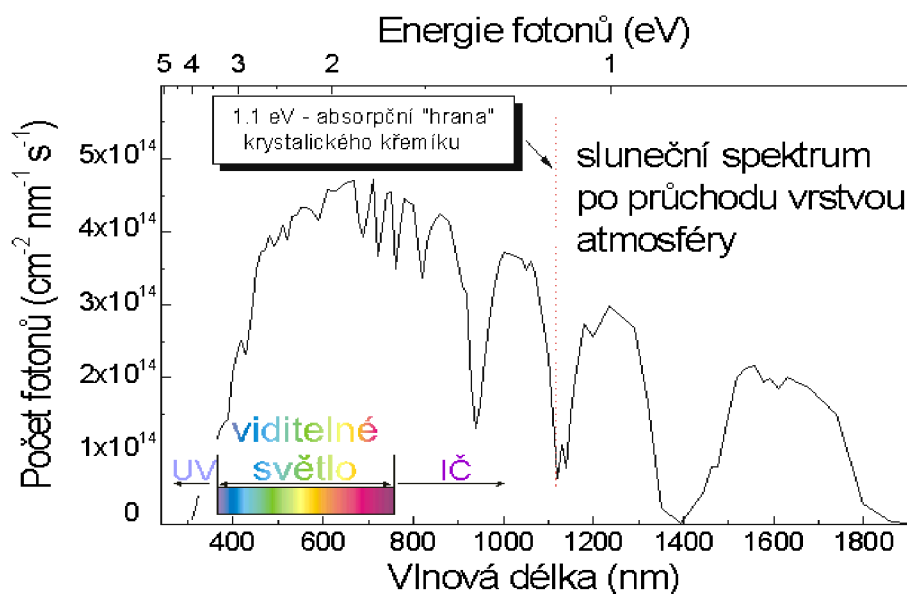


Obr. 5-4 PN přechod v rovnovážném stavu

Energie fotonů se mění na elektrickou energii ve fotovoltaickém článku. Jedná se v podstatě o velkoplošnou diodu. Je vytvořen tak, že v tenkém plátku křemíku je v malé hloubce pod povrchem vytvořen P-N přechod opatřený z obou stran kovovými kontakty.

5.4 Teorie fotovoltaických článků

Pokud dopadají fotony s větší energií, než jaká odpovídá šířce zakázaného pásu ΔE_G , pak tyto fotony generují páry elektron-díra. Tak odevzdají energii a pohltní se. Přebytečná energie fotonů rozkmitá mřížky a tak se přemění v teplo, které vede k ohřevu materiálu polovodiče. Křemíkový článek může využít fotony s energií větší než cca 1,1 eV, což odpovídá záření o vlnové délce menší než 1100nm. [1] Na obr. 5-5 je znázorněna část spektra slunečního záření.



Obr. 5-5 Sluneční spektrum

Jeden z polovodičů tvořící přechod PN, např. N, je ozářen. Vliv osvětlení se zvětší koncentrace minoritních nosičů (děř), u nichž se neuplatní působení potenciálové bariéry. V prvním přiblížení je třeba změnu koncentrace elektronů zanedbat, pouze nepatrný počet elektronů je schopen proniknout potenciálovou bariérou do polovodiče typu P. Vlivem osvětlení se zvětší proud děř dopadající z polovodiče typu N na přechod. Tento přírůstek proudu děř se značí I_f . Nadbytečný proud děř, který proudí z polovodiče typu N, způsobí nabíjení typu P kladně vzhledem k N. Současně se sníží energetická hladina elektronů a Fermiho hladina se rozštěpí. Rozdíl energií těchto hladin v obou polovodičích ΔW pak odpovídá potenciálovému rozdílu vzniklému následkem osvětlení.[13]

$$U = \frac{\Delta W}{e} \quad (V; J, C) \quad (5.1)$$

Při rozestupu Fermiho hladin se zvětší počet nosičů, které mají dostatečnou energii k překonání potenciálové bariéry přechodu. Nadbytečný fotoelektrický proud je u nezatíženého článku roven svodovému proudu:

$$I_{Svod} = I_s \cdot \left[\exp\left(\frac{\Delta W}{n \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right] \quad (5.2)$$

- I_s - je nasycený svodový proud v závěrném směru (A)
- k - Boltzmannova konstanta $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$
- T - absolutní teplota (T)
- n - počet sériově řazených článků, v našem případě $n = 112$

Při zatížení článku poteče vnějším obvodem proud:

$$I = I_f - I_s \cdot \left(\exp\left(\frac{\Delta W}{n \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right) \quad (5.3)$$

Dosažením napětí získáme V-A charakteristiku článku:

$$I = I_f - I_s \cdot \left(\exp\left(\frac{e \cdot U}{n \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right) \quad (5.4)$$

Kde I_f je fotoelektrický proud (A), který je dán součinem počtu uvolněných nosičů v jednotkovém čase a velikostí elementárního náboje:

$$I_f = \frac{e \cdot \Phi \cdot \gamma \cdot \kappa \cdot (1 - \rho)}{h \cdot \nu} \quad (5.5)$$

- e (C) - náboj elektronu $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C
- Φ (W) - dopadající zářivý tok
- $\Phi / h\nu$ (s^{-1}) - počet dopadajících fotonů za sekundu
- ρ (-) - součinitel odrazivosti
- γ (-) - kvantový výtěžek
- κ (-) - počet nosičů, které dospějí k přechodu, k počtu nosičů vzniklých absorpcí záření

Proud článku může být pak psán ve tvaru (K je konstanta a B závisí na zářivém toku):

$$I = K \cdot \Phi - B \cdot \left(\exp \frac{eU}{n \cdot k \cdot T} - 1 \right) \quad (5.6)$$

Chceme-li zjistit účinnost v optimálním pracovním režimu, potřebujeme znát maximální hodnotu výkonu článku. Výkon je dán vztahem:

$$P = U \cdot I = U \cdot \left[K \cdot \Phi - B \cdot \left(\exp \frac{eU}{n \cdot k \cdot T} - 1 \right) \right] \quad (5.7)$$

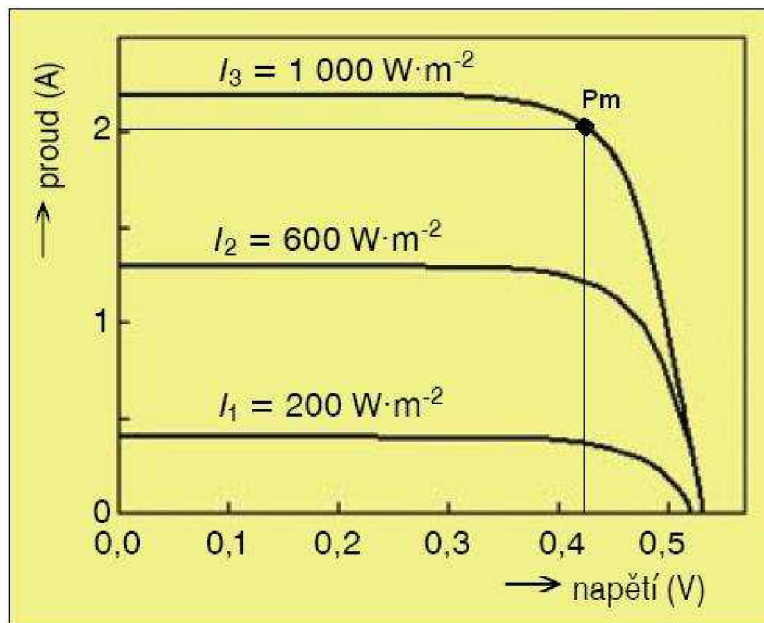
Derivací podle napětí se stanoví hodnota U_m a maximální výkon bude mít hodnotu:

$$P_m = U_m \cdot I(U_m) \quad (5.8)$$

Maximální účinnost fotovoltaického článku je poměr:

$$\eta_m = \frac{P_m}{\Phi} \quad (5.9)$$

Na obrázku 5-6 jsou zobrazeny volt-ampérové charakteristiky pro různé hodnoty intenzity osvětlení. Na charakteristice, která odpovídá intenzitě $I=1000\text{Wm}^{-2}$, je zobrazen pracovní bod s maximální hodnotou výkonu P_m (článek zde má nejvyšší účinnost).



Obr. 5-6 Volt-ampérové charakteristiky (v prvním kvadrantu) osvětleného FV článku při různých intenzitách osvětlení při konstantní teplotě $t=50\text{ }^{\circ}\text{C}$

Poloha pracovního bodu se pohybuje v určitém rozmezí a to zejména v závislosti na zátěži. Pro optimalizaci pracovního bodu slouží různá zařízení, aby byla co nejlépe využita účinnost fotovoltaického článku, který má hlavní parametry určené fyzikální podstatou PN přechodu.

5.5 Elektrické parametry fotovoltaického článku

Elektrické parametry fotovoltaických článků se měří při intenzitě osvětlení 1000 Wm^{-2} při spektrálním složení světla, které odpovídá slunečnímu spektru.

I_{450}

- proud tekoucí článkem při napětí 450mV
- podle tohoto parametru se články dělí do skupin

I_{SC}

- zkratový proud tekoucí FV článkem při napětí 0V
- tento parametr lze změřit pouze speciálním přístrojem

U_{OC}

- napětí na FV článku naprázdno, bez zátěže

P_m

- maximální výkon, který může článek dodávat
- tento bod je na VA charakteristice přibližně uprostřed ohybu
- pro ideální využití by se měl článek zatěžovat tak, aby se pracovní bod nacházel právě v tomto bodě

I_m

- proud, při kterém dodává článek maximální výkon

U_m

- napětí, při kterém článek dodává maximální výkon

FF

- Fill factor
- parametr se zjišťuje výpočtem $FF = \frac{I_m \cdot U_m}{U_{oc} \cdot I_{sc}}$

EEF

- účinnost solárního článku

R_{so}

- sériový odpor solárního článku

R_{sh}

- paralelní odpor solárního článku[12]

6 TECHNOLOGIE, VÝVOJ A VÝROBA FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ

6.1 Základní typy fotovoltaických článků

FV články mají za sebou asi 50 let vývoje. Za takovou dobu bylo vyzkoušeno mnoho typů konstrukcí a bylo využíváno různých materiálů. Můžeme rozlišovat 4 skupiny generačního vývoje FV článků.

PRVNÍ GENERACE

- Jedná se o fotovoltaické články, které se vyrábí z destiček monokrystalického křemíku.
- Na trhu je tato technologie nejrozšířenější (asi 90%).
- Tento typ se vyznačuje relativně dobrou účinností (14-17%) a dlouhodobou stabilitou výkonu (tyto vlastnosti jsou velmi důležité hlavně ve velkých instalacích).
- Jejich hlavní nevýhodou je velká spotřeba křemíku, protože křemík musí být velmi čistý (99,9999999%).

DRUHÁ GENERACE

- Je charakterizována snahou snížit množství křemíku potřebného k výrobě FV článku. Jedná se o tzv. tenkovrstvé články. K výrobě se používá polykrystalický, mikrokrystalický nebo amorfní křemík. Vyznačují se 100-1000krát tenčí vrstvou.
- K jejich hlavní nevýhodě je nižší účinnost (v sériové výrobě asi 10% a méně) a menší stabilita (účinnost dále klesá s časem).
- Začínají se používat i jiné materiály než křemík, například tzv. směsné polovodiče z materiálů jako jsou Cu, In, Ga, S, Se, které se označují jako CIS struktury.
- V poslední době jsou tenkovrstvé články využívány hlavně tam, kde je potřeba pružnost a ohebnost. Hlavně pro armádní využití se používají jako součást oblečení.
- Do prodeje se články druhé generace dostaly v polovině 80. let.

TŘETÍ GENERACE

Vyznačují se tím, že k přeměně energie používají jiné materiály než křemík. Například:

- fotoelektrochemické (fotogalvanické) články, polymerní články
- nanostruktury ve formě uhlíkových nanotrubiček

ČTVRTÁ GENERACE

Tvoří ji kompozitní, z jednotlivých vrstev složené fotovoltaické články, které umí využít širší část slunečního záření.

Třetí a čtvrtá generace se prozatím komerčně nepoužívají.[5][8]

Tab. 6-1 Účinnost jednotlivých typů FV článků. Zdroj: EkoWATT

	BĚŽNÁ ÚČINNOST	MAX. LABORATORNÍ ÚČIN.
	[%]	[%]
MONOKRYSTALICKÝ	14 až 17	25
POLYKRYSTALICKÝ	13 až 16	20
AMORFNÍ	5 až 7	12

6.2 Výroba fotovoltaických článků

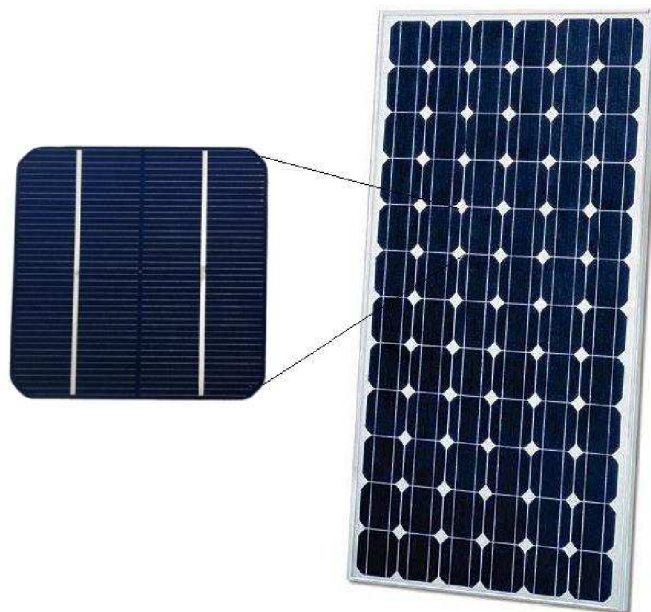
MONOKRYSTALICKÉ KŘEMÍKOVÉ ČLÁNKY

Rozměr krystalů je asi 10 cm. Vyrábí se z ignotů polykrystalického křemíku Czochralského metodou (pomalým tažením z roztaveného čistého křemíku). Tyto ignoty (obr. 6-1) se řezou drátovou pilou na plátky tenké asi 0,25 až 0,35mm.



Obr. 6-1 Křemíkové ignoty

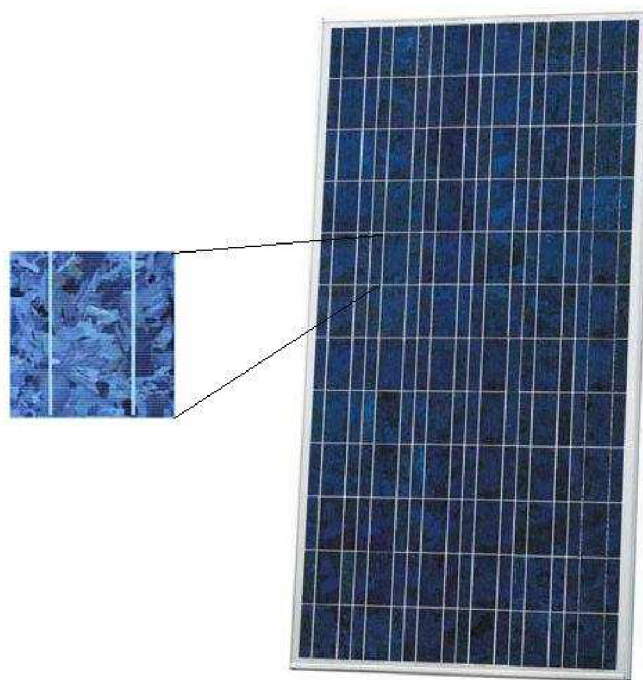
V poslední době je snaha o co nemenší tloušťku a taky o menší hodnotu odpadu při řezání z důvodu snížení nákladů na výrobu. Plátky se postupně upravují na rovnoměrnou tloušťku a povrch se vyleští a odleptá od nečistot. Tato technologie je poměrně složitá, a proto se hledaly cesty, jak ji zjednodušit a zároveň ušetřit křemík. Například jednou z možností je táhnout monokrystalický plátek již z taveniny. Ze stejného množství křemíku se dá vyrobít až dvojnásobná plocha FV článků, ale zase na úkor účinnosti.[2]



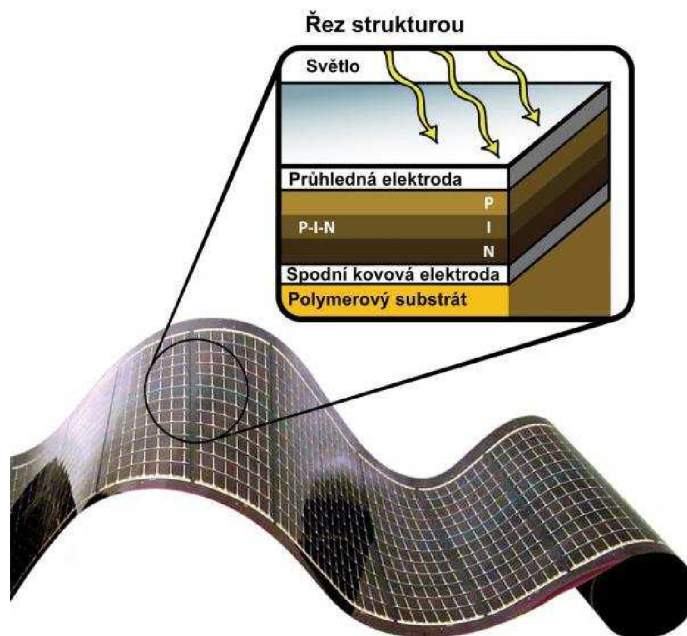
Obr. 6-2 Fotovoltaický článek z monokrystalického křemíku

POLYKRISTALICKÉ KŘEMÍKOVÉ ČLÁNKY

Jde o nejběžnější typ článků. Vyrábí se mnohem jednodušším způsobem než tažení monokrystalu. Čistý křemík se odlévá do forem, které mohou být tvarem upravené pro účely výroby. Zajišťuje se tak lepší využití čistého křemíku. Takto vyrobené články mají ale horší účinnost, protože na styku jednotlivých krystalových zrn je větší odpor. Výhodné je, že tato metoda poskytuje levnější výchozí surovinu pro výrobu FV článků. [2]



Obr. 6-3 Fotovoltaický článek z polykrystalického křemíku



Obr. 6-4 Řez strukturou článku z amorfního křemíku

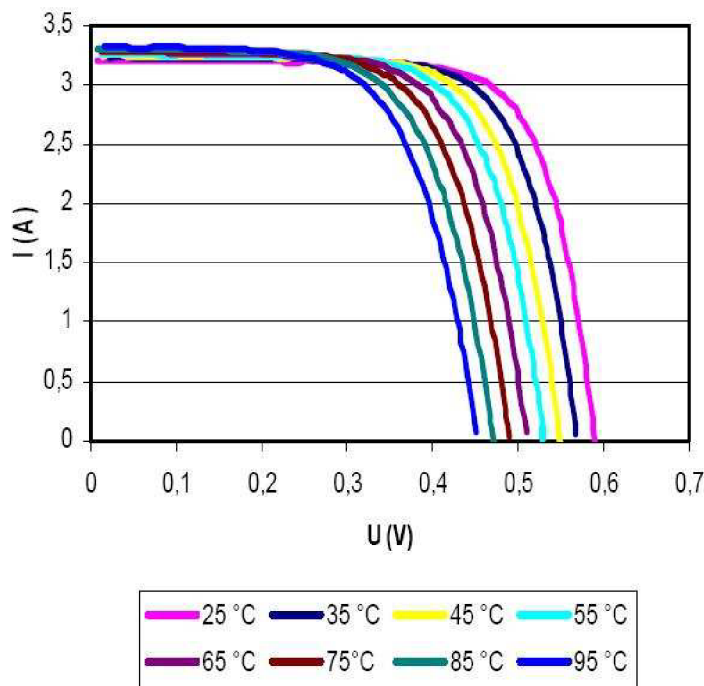
ČLÁNKY Z AMORFNÍHO KŘEMÍKU

Na články vyrobené z amorfního křemíku se spotřebuje mnohem méně materiálu, než u předchozích typů, to znamená výrazný pokles jejich ceny.

Vyrábí se vhodným rozkladem sloučenin křemíku, například silanu, ve vodíkové atmosféře. Takto vyrobené velmi tenké vrstvy se nanášejí na skleněné, nerezové nebo plastové podložky. Vrstva je amorfní, to znamená, že nemá pravidelnou krystalickou strukturu. Obsahuje také vodík. Má větší absorpci slunečního záření (1mm pohltí 90% slunečního záření). Proto se tak dají vyrobit ohebné fotovoltaické články a moduly, které se mohou použít například jako krycí fólie na střechy. Mohou se našít na oblečení nebo na batoh. Problémem je nestabilita způsobená přítomností vodíku, protože struktura je narušována oxidací vzdušným kyslíkem. Výkon těchto článků z toho důvodu nejprve klesá, a pak se ustálí asi na 80% původní hodnoty výkonu. [2]

6.3 Vliv teploty na účinnost fotovoltaických článků

Jak již bylo uvedeno v kapitole o polovodičích, v solárním článku se využije jen část slunečního spektra (je dáno materiálem polovodiče), které přemění na elektrickou energii. Zbylá energie je přeměněna na teplo. Oteplením článků se ale snižuje účinnost fotovoltaických článků, což je velmi nežádoucí. Proto se hledají způsoby, jak oteplení článků zabránit.



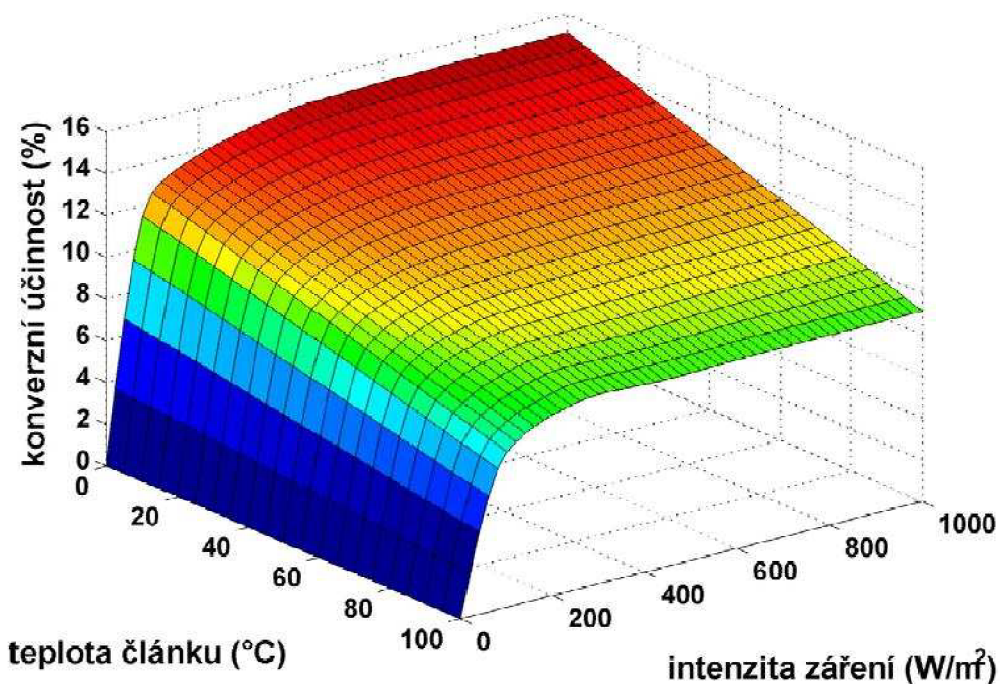
Obr. 6-5 Vliv teploty V-A charakteristiky fotovoltaických článků při $I = 1000 \text{ Wm}^{-2}$

V zimních měsících je tedy vlivem teploty mnohem větší účinnost fotovoltaických článků, než je tomu v měsících letních, kdy se výrazně mění účinnost i během dne. Maximální rozdíl teplot FV článků dosahuje i hodnoty až $\Delta t = 45^\circ\text{C}$, což znamená velké výkyvy v účinnosti. Proud nakrátko I_{SC} se sice při zvyšující se teplotě roste, ale jen nepatrně o $0,05\%/^\circ\text{C}$. Zatímco snižuje výrazně. Tato skutečnost je dobře viditelná z obr. 6-5 [11]

Faktor plnění FF s rostoucí teplotou klesá o $0,2\% / ^\circ\text{C}$

Sériový odpor R_S se s rostoucí teplotou zvyšuje téměř lineárně o $0,32\% / ^\circ\text{C}$

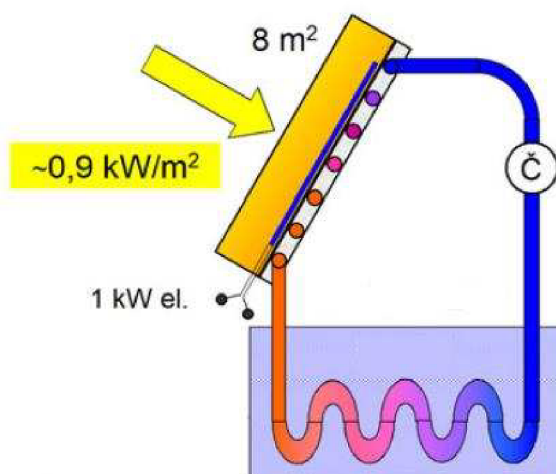
Paralelní odpor R_P s rostoucí teplotou klesá o $0,7\% / ^\circ\text{C}$



Obr 6-6 Průběh účinnosti testovaného FV článku v závislosti na jeho teplotě (0 až 100°C) a intenzitě dopadajícího záření (0 až 1000 W/m²).

Při provozu se zahříváním sluneční energií teplota článků zvyšuje. Proto je třeba zajistit dobré chlazení. Každý systém je potřeba konstrukčně navrhnout tak, aby bylo efektivní chlazení umožněno. Například v přirozené formě v podobě cirkulace okolního vzduchu, což může výrazně zvýšit účinnost systému.

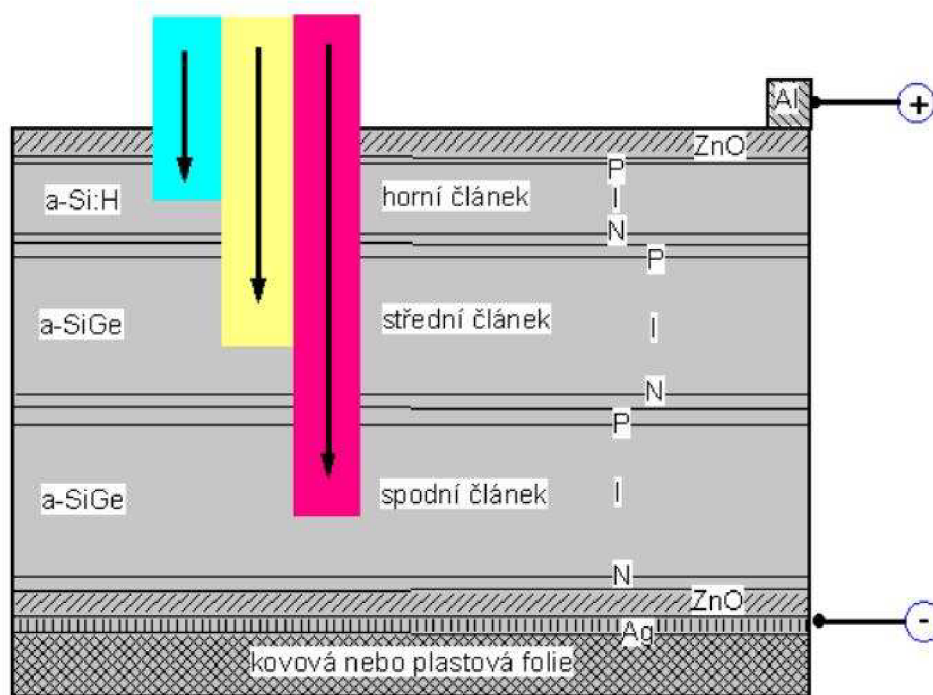
HYBRIDNÍ PANELY



Obr. 6-7 Hybridní panel

Hybridní panely jsou další z možností, jak zajistit chlazení při přeměně na elektrickou energii s využitím tepla. Jde tedy o kombinaci fotovoltaického panelu a solárního tepelného panelu na ohřev vody. Zadní povrch fotovoltaických článků je pomocí elektricky izolující a tepelně vodivé vrstvy propojen se soustavou trubek s chladicím médiem, které slouží k výměně tepla, které následně skladováno jako teplá voda v zásobníku.[11] Obr. 6-7

Snížení tepelných ztrát s využitím p-i-n přechodu



Obr. 6-8 Schematické znázornění struktury třívrstvého slunečního článku na bázi amorfního hydrogenovaného křemíku ($a\text{-Si:H}$) a slitin amorfního křemíku a germania ($a\text{-Si}_x\text{Ge}_{1-x}\text{H}$). V horním článku s největší šířkou zakázaného pásu je absorbována krátkovlnná část slunečního spektra (UV, modrá, část zelené), v nejspodnějším s malou šířkou zakázaného pásu pak červená a především infračervená část spektra.[9]

Pro zlepšení sběru fotogenerovaných nositelů je volena struktura $p\text{-i-n}$. Velká většina elektronů a děr je generována v oblasti silného vnitřního elektrického pole v intrinsické (i) vrstvě. Pro lepší využití celého slunečního spektra je tento článek složen z tří jednoduchých článků ($p\text{-i-n}$ vrstev) s různou hranou vlastní absorpce, to znamená snížení ztráty následkem přeměny části energie fotonů v teplo. Tloušťka jednotlivých $p\text{-i-n}$ struktur je volena tak, aby tekly ve všech 3 stejný proud, přičemž napětí nepřesahuje 2 volty. Nevýhody této technologie je popsána v odstavci o článcích z amorfního křemíku.[10]

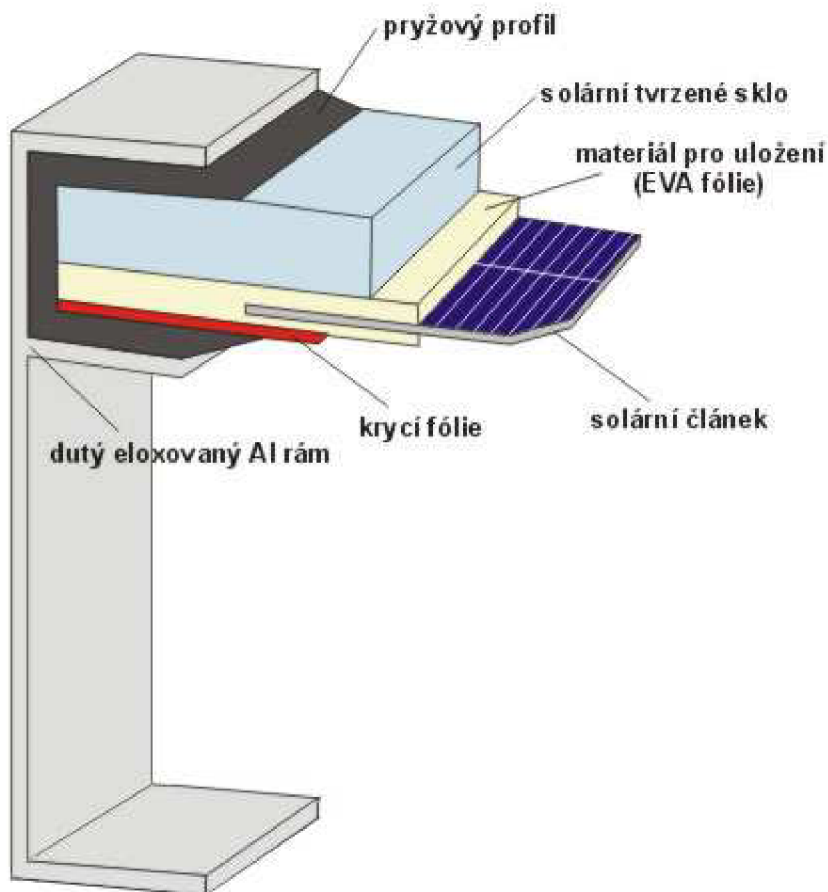
7 FOTOVOLTAICKÉ PANELY

7.1 Konstrukce fotovoltaických panelů

FV články jsou velmi citlivá zařízení a je nutné, aby plnili spolehlivě svoji funkci řadu let. Proto se umísťují do fotovoltaických panelů nebo modulů, které je chrání před povětrnostními vlivy (koroze, znečištění, mechanické poškození, kroupy apod.)[2]

Na přední straně panelu je kalené sklo, které je odolné i proti krupobití. Na sklo se umísťuje EVA (etylvinylacetát) fólie, na kterou se skládají propojené PV články. Články se propojují sériově a to tak, že kovový pásek spojuje přední část jednoho článku se zadní částí článku druhého. Na propojené články se opět umísťuje EVA fólie. Zadní strana je pak tvořena z laminátové kompozice PVF-PET-PVF (polyvinylidenfluorid-polyetylentereftalát-polyvinylidenfluorid). Vzduch mezi jednotlivými vrstvami se vyčerpá a panel se zahřeje na teplotu tání EVA fólie, která se rozteče a zaplní prostor kolem FV článků mezi předním sklem a zadní laminátovou stěnou. Do hliníkového rámu se pak utěšňují silikonovým tmelem a opatří se krabicí s výstupními kontakty. Takto zhotovené PV panely jsou prachotěsné i vodotěsné.

Životnost PV panelů na bázi krystalických polovodičů bývá 20-30 let.[1]



Obr. 7-1 Konstrukce fotovoltaického panelu

7.2 Vliv provedení fotovoltaických panelů na účinnost

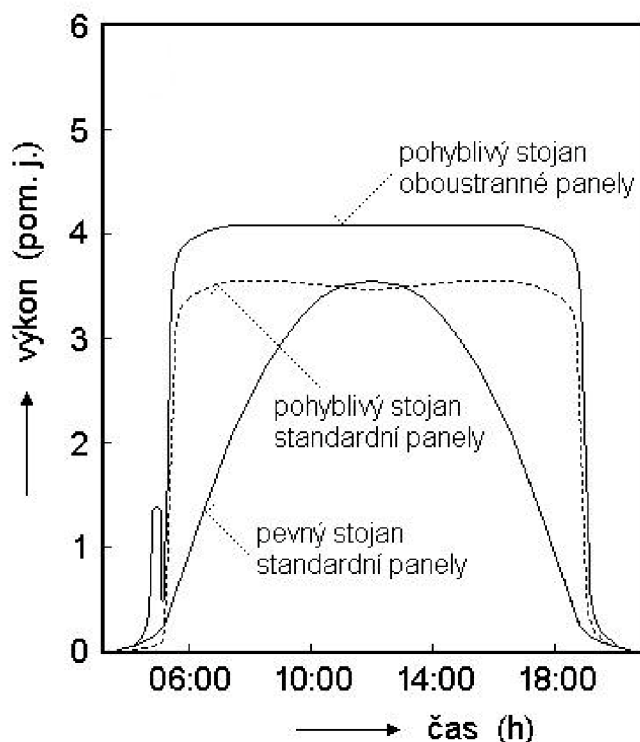
PV panely mohou být umístěny na střechách budov, na fasádách nebo na různé konstrukce umístěné na vhodných místech.

SYSTÉMY S PEVNÝM STOJANEM

Pokud je to možné, orientujeme panely přední stranou k jihu a sklon volíme podle zeměpisné šířky a to tak, aby v poledne dopadalo záření kolmo k přední ploše panelů. Sklon závisí na způsobu využívání systému. Při celoročním provozu ostrovních systémů je vhodné volit sklon více „nakolmo“ (cca 49°), protože Slunce je v zimních měsících nízko. Pokud chceme například maximalizovat zisk z vyrobené elektrické dodávané do sítě, volíme sklon cca 32°. Během letních měsíců je Slunce vysoko a na Zemi dopadá 75% ročního úhrnu globálního záření.[1]

SYSTÉM S POHYBLIVÝM STOJANEM

Významné zvýšení denní produkce elektřiny je možné dosáhnout montáží PV panelů na pohyblivý stojan, kterým můžeme zajistit trvalý kolmý dopad slunečního záření. Navýšení dopadající energie při použití pohyblivých stojanů oproti stojanům pevným činí 57% (neuvažujeme vliv atmosféry). V pozemských podmínkách (s přihlédnutím vlivu atmosféry), kdy například po východu slunce a před západem prochází sluneční paprsky přes silnou vrstvu atmosféry. Proto je intenzita záření dopadajícího na plochu, která je orientovaná kolmo ke směru záření menší než v poledne. Na Zemském povrchu je tedy možné navýšení množství vyrobené el. energie 40% (v podmínkách České republiky 30%).

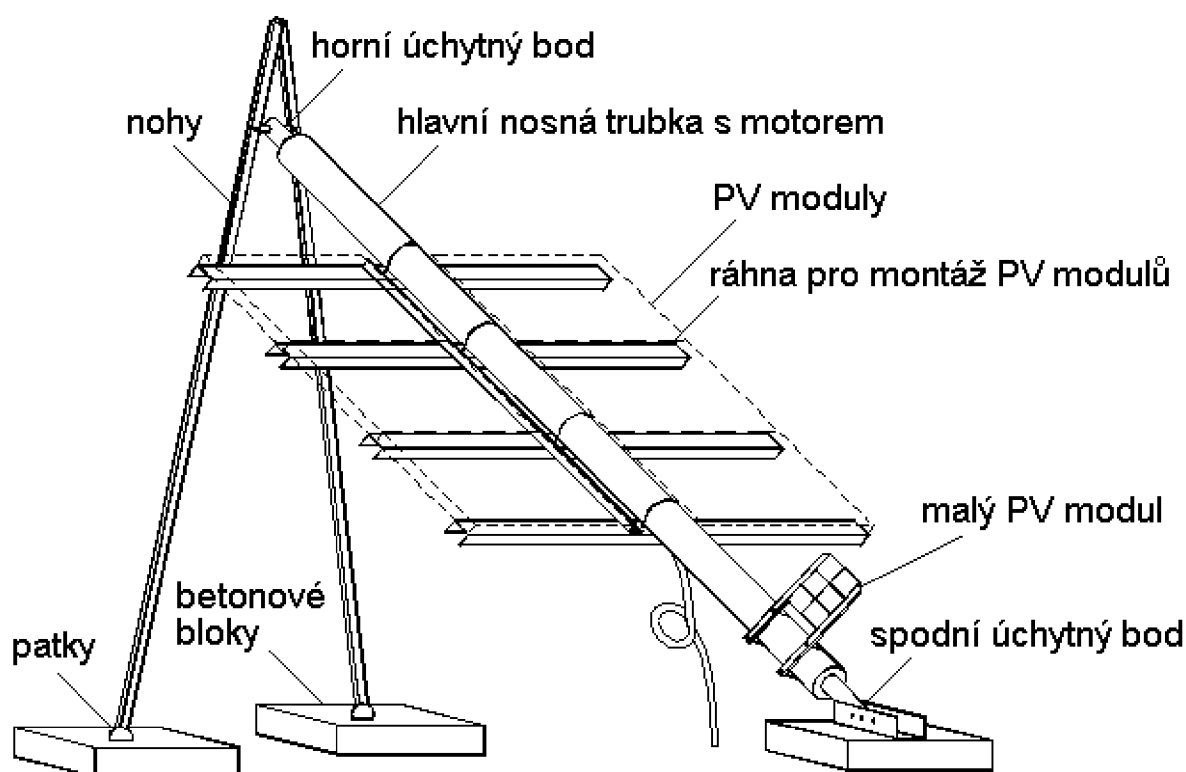


Obr. 7-2 Idealizovaná závislost okamžitého výkonu dodávaného fotovoltaickými solárními systémy s pevnou a pohyblivou konstrukcí

Způsoby sledování slunce:

- **Sledovače na principu hodinových strojků** – pracují na principu hodinových strojků nebo počítačem řízených krokových motorků se samosvornou převodovkou. (složitě a drahé)
- **Sledovače na principu vypařování a kondenzace freonu** – freon se “přelévá“ a pohybuje panelem ke slunci (jednoduché, nepřesné)
- **Sledovače na principu diferenciálního porovnávání intenzity slunečního záření na PV článkách tvořících senzor** – 3 PV články jsou vůči sobě posunuty o určitý úhel. Systém pracuje tak že vyhodnocuje signály z jednotlivých článků a natáčí panely tak, aby signály ze 2 článků byly shodné. (přesné, složité a drahé)

Řešení nabízí systém TRAXLE.



Obr 7-3 Sledovací systém TRAXLE

V hlavní nosné trubce, která tvoří osu systému, je umístěn stejnosměrný motor se šroubovou převodovkou. Pohon motorku, který panely otáčí je získáván z malého FV modulu na spodní části trubky. Modul je namontován kolmo ke slunci a na obou stranách jsou umístěny FV články. Celý systém se otáčí podle toho, na kterou stranu malého FV modulu dopadá více slunečního záření. Pokud je jedna strana více osvětlena rovnováha se poruší a motor se začne otáčet do té doby, než se opět dopadající záření na obě strany vyrovná. Za jasného dne se systém pohybuje postupně (ale ne spojitě) od východu k západu. Ráno před východem slunce je zařízení orientováno k západu, protože tam předchází den večer ukončilo činnost. Po východu slunce dopadá sluneční záření pouze na jednu stranu FV modulu a motor začne natáčet zařízení směrem

k východu, dokud síla motoru nepoklesne pod prahovou sílu potřebnou pro orientaci zařízení. Často bývá konstruovaný se zrcadlovým koncentrátorem slunečního záření.[9]

7.3 Koncentrátory

Koncentrátor je optické zařízení, které je schopno soustředit sluneční záření z velké plochy na plochu fotovoltaického článku nebo modulu.

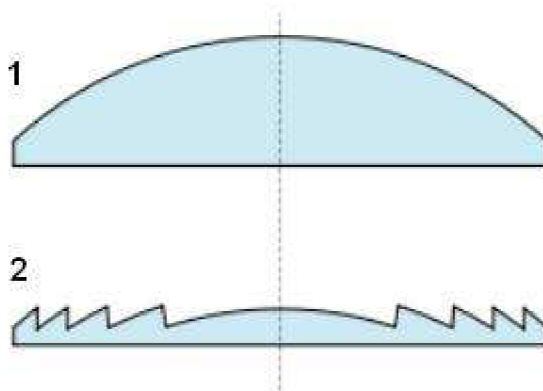
Využitelných koncentrátorů je celá řada a zpravidla se rozdělují podle toho, které optické prvky využívají.

KONCENTRÁTORY ZRCADLOVÉ

- **S rovinným zrcadlem**
 - o snadno se vyrábí, ale nevýhodou je malá dosažitelná koncentrace (1,4 krát)
- **S parabolickým zrcadlem**
 - o snadné docílení vysokého stupně koncentrace
 - o nutnost natáčení modulu za sluncem a dobré chlazení fotovoltaických článků
- **CPC**
 - o složený parabolický koncentrátor
 - o není potřebné natáčení za sluncem, stačí nastavení 2x ročně
 - o nevýhodou je větší potřebná plocha zrcadla než u běžných parabolických koncentrátorů a také nerovnoměrnost osvětlení FV panelu

KONCENTRÁTORY ČOČKOVÉ

- **Běžné spojné čočky**
- **Fresnelovy čočky (Obr 7-4)**
 - o výhodou je snazší sériová výroba než je tomu u zrcadel a možnost vyrobit čočky dostatečně malé
 - o nevýhodou je nutnost natáčení za sluncem ve dvou osách[2]



Obr. 7-4 1. Běžná čočka, 2. Fresnelova čočka

8 INVERTOR

Invertor, nazývaný také střídač nebo měnič, slouží k přeměně stejnosměrného napětí, které je generováno fotovoltaickými panely na střídavé napětí rozvodné sítě. Invertor však může mít i celou řadu dalších doplňkových funkcí (monitoring sítě a provozních údajů, ochranné funkce atd.).

Typy invertorů:

CENTRÁLNÍ INVERTOR:

- 10 – 250 kW
- je společný pro několik paralelních řetězců
- používají se u velkých FV elektráren
- při použití jsou kladeny větší nároky na DC kabely
- jednodušší ochrana proti přepětí
- výhody: vysoká účinnost, nižší pořizovací náklady
- nevýhody: nižší spolehlivost

ŘETĚZCOVÝ INVERTOR:

- 1 - 10 kW
- měnič je umístěn v každém řetězci
- nejširší využití u elektráren do 200 kWp
- výhody: každý řetězec má MPPT (sledování bodu maximálního výkonu)
- nevýhody: vyšší pořizovací náklady

MODULOVÝ INVERTOR:

- 50 – 180 W
- měnič je připojen ke každému modulu
- výhody: každý modul má MPPT
- nevýhody: vysoká cena, nižší účinnost

Invertory se také liší vnitřním zapojením. Rozeznáváme invertory s transformátorem a bez transformátoru se zvyšováním napětí. Výhodou provedení bez transformátoru je vyšší účinnost, ale jako nevýhoda se jeví absence galvanického oddělení, které znamená ochranu pro střídač (odděluje DC a AC část).

Základní parametry invertorů:

- jmenovitý výkon AC i DC strany
- maximální vstupní napětí
- účinnost střídače
- maximální vstupní proud
- krytí IP

9 NÁVRH FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU 4,32 kWp

9.1 Popis podmínek

Fotovoltaický systém je navrhován na jižní stranu sedlové střechy rodinného domu se sklonem 38°.

Poloha rodinného domu:

- ČR, Jižní Morava, obec Kobylí
- 48°55'58" severní šířky
- 16°53'29" východní délky
- Nadmořská výška: 212 m. n. m.
- Optimální náklon FV modulů: 34°

Tab. 9-1 Optimální hodnota náklonu FV modulů a teplota okolí

měsíc	optimální náklon [°]
leden	63
únor	56
březen	45
duben	32
květen	20
červen	13
červenec	17
srpen	28
září	41
říjen	55
listopad	59
prosinec	62
rok	34

měsíc	průměrná teplota [°C]
leden	-1,7
únor	0,9
březen	4,3
duben	10,1
květen	15,1
červen	18
červenec	19,8
srpen	19,6
září	15
říjen	10,4
listopad	4,6
prosinec	-0,6
rok	9,6

9.2 Jednotlivé komponenty fotovoltaického systému

9.2.1 Fotovoltaické moduly

Tab. 9-2 Parametry použitého FV panelu Solartec SG-180-5Z

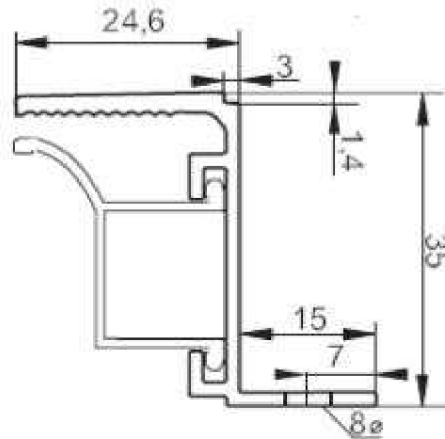
SOLARTEC SG-180-5Z

Mechanické vlastnosti	
Délka	1 643 mm
Šířka	854 mm
Tloušťka	35 mm
Hmotnost	16 kg
Propojovací box	2×85cm vodič s MC4 konektory
Přední sklo	rastrované, 3 mm
Solární články	72 ks, krystalický 5" Si
Vzdálenost mezi články	2 mm
Vzdálenost článků od rámu	naboku: 15mm, nahoře: 17mm, dole: 17mm
Zapouzdření článku	EVA folie (Ethyl - Vinyl - Acetát)
Zadní strana	tedlar
Rám	eloxovaný hliník, viz. nákres

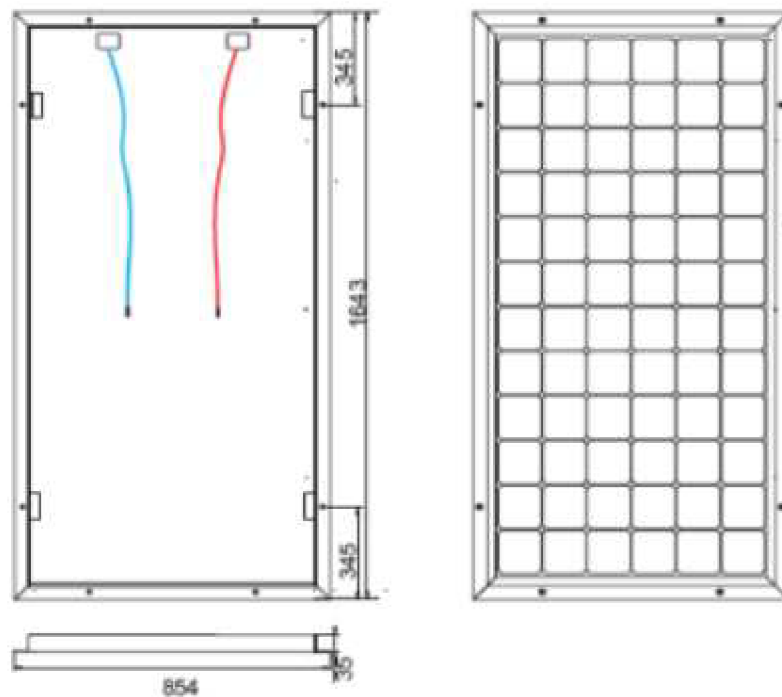
Elektrické parametry	
Výkonová třída / max. výkon P _{max} (± 5%)	180 Wp
Optimální napětí U _{mpp}	36,00 V
Napětí naprázdno U _{oc}	44,40 V
Proud nakrátko I _{sc}	5,25 A
Optimální proud I _{mpp}	5,00 A
Max. systémové napětí	850 V

Teplotní koeficienty	
Výkon T _c (P _m)	-0,47%/°C
Napětí naprázdno T _c (U _{oc})	-156mV/°C
Proud nakrátko T _c (I _{sc})	+0,054%/°C

Moduly jsou uzpůsobeny pro práci v prostředí s okolním rozsahem teplot -35°C až 85°C. Výrobce poskytuje záruku 24 měsíců a zároveň garantuje výkon 90% po dobu 10 let a 80% po dobu 25 let.



Obr. 9-1 Profil rámu modulu SG-180-5Z



Obr. 9-2 Rozměry modulu SG-180-5Z

Moduly budou upevněny ke střeše pomocí speciální upevňovací konstrukce na sedlové střeše. Použit bude standardní držák ke krytině střešní taška HK1, ty budou upevňovat hliníkové profily NP1, na které jsou pak umisťovány moduly pomocí krajních nebo středových úchytek. Hliníkový profil NP1 je doporučován na sedlové střeše s roztečí krovů do 140 cm. Výrobce udává, že konstrukce je odolná větrům do rychlosti 100 km/h.

9.2.2 Invertor

Tab. 9-3 Parametry použitého měniče Fronius IG 40

MĚNIČ FRONIUS IG 40

vstupní parametry	
výstup z FV	3500-5500 Wp
max. vstupní proud	29,4 A
rozsah vstupního napětí	150-400 V
max. vstupní napětí	500 V

výstupní parametry	
nominální výstup	3500 W
maximální výstupní výkon	4100 W
maximální účinnost	94,30%
napětí/ frekvence	230 V/50 Hz
odchylka	< 3,5 %
noční spotřeba	0 W

obecné údaje	
rozměry (h x š x v)	610 x 344 v 220 mm
hmotnost	16 Kg
provozní teploty	-20°C až 50°C

ochrany	
DC měrný odpor	pozor při $R_{iso} < 500 \text{ k}\Omega$
ochrana proti proti přepólování	zabudována
režim v DC přetížení	v odchylce od provozního bodu

Invertor bude umístěn uvnitř budovy, proto bude zvolena verze pro vnitřní použití s krytím IP21, zatímco venkovní by měla IP45. Jako doplněk k invertoru bude sloužit komunikační karta s PC Fronius Interface card, která je vybavena rozhraním s otevřeným datovým protokolem, pomocí kterého jsou načítány a dále zpracovávány aktuální údaje o fotovoltaickém zařízení z invertoru.

9.2.3 Rozvaděč, kabelové rozvody a trasy

Rozvaděč fotovoltaického systému RDAC bude proveden jako plastová rozvodnice.

Obsahuje:

- cejchovaný elektroměr
- soubor ochran pro elektrárenské distribuční společnosti, včetně přepětových ochran II. stupně
- svorky pro připojení kabelů od FV panelů
- svorky pro připojení invertoru - stejnosměrných vodičů
- svorky pro připojení invertoru - výstupního střídavého napětí
- svorky pro připojení kabelu do rozvodné soustavy

Silnoproudé propojení a kabelové rozvody budou provedeny měděnými k tomuto účelu určenými solárními kabely typu SOLAR FLEX a dále Cu kabely CYKY.

Venkovní kabely budou svazkovány ke kovové nosné konstrukci FV panelů. Ve venkovním prostoru v hlavních trasách budou kabely uloženy v oceloplechových žlabech. Ve vnitřních prostorech budou kabely uloženy v PVC lištách.

Měření elektrické energie – zelený bonus:

- měření získané elektrické energie je navrženo pomocí jednosazbového cejchovaného elektroměru, který bude umístěn v rozvaděči fotovoltaického systému RDAC

Měření elektrické energie – přebytky do sítě:

- distribuční společností bude stávající elektroměr měřící spotřebu vyměněn za elektroměr měřící odběr - dodávku

9.2.4 Hromosvod a přepětové ochrany

V posledních letech dramaticky vzrostl objem škod na FV zařízeních vlivem působení blesku. Důvody vzniku těchto škod lze spatřovat především v:

- zvyšujícím se počtu nově instalovaných FV zařízení
- větší bouřkové aktivitě
- neodborně provedené instalaci FV zařízení

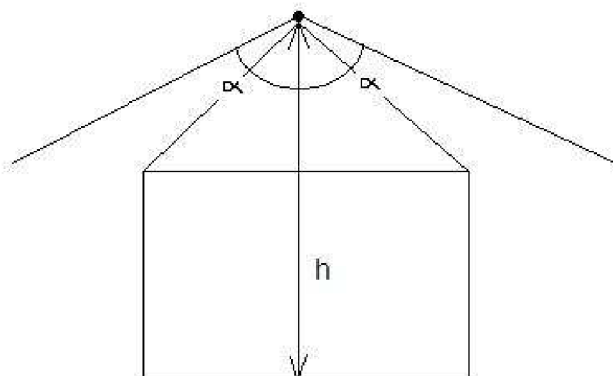
Správnému dimenzování přepětových ochran je nutné věnovat velkou pozornost, protože jakýkoliv výpadek se projeví v delší době návratnosti investice nebo zhoršenou možností splácet poskytnutý úvěr. Poškození vlivem přepětí totiž znamená výměnu kus za kus, což není možné během zanedbatelné doby.

HROMOSVOD

- Rodinný dům spadá do třídy LPS III
- Typ hromosvodu - Vnější LPS upevněný na stavbě, vodivě spojený se zařízeními i stavbou
- Jímací soustava je provedena tyčovým jímačem z pozinkované oceli s průřezem 50 mm² (tabulka 6 ČSN EN 62305-3) a výpočet byl proveden pomocí metody ochranných úhlů

- aby byla pod kontrolou cesta bleskového proudu, použijeme strojené svody z tuhého drátu pozinkované oceli o průřezu 50 mm^2 (tabulka 6 ČSN EN 62305-3), od kterých je potřeba vypočítat bezpečnou vzdálenost vodivých částí zařízení (FV panelů)
- uzemnění: typ A – hloubkový zemnič, tuhý pásek z pozinkované mědi o průřezu 90 mm^2 (tabulka 7 ČSN EN 62305-3)

Metoda ochranných úhlů (pro výpočty byl použit program Hromosvody PLUS, který vychází z normy ČSN EN 62305-3)



Obr. 9-3 Náčrt ochranného úhlu

- výška jímače $h = 9,3 \text{ m}$
- ochranný úhel $\alpha = 60^\circ$

$$s = k_i \cdot \frac{k_c}{k_m} \cdot l \quad (9.1)$$

$K_i = 0,04$ (ČSN EN 62305-3 tabulka 10)

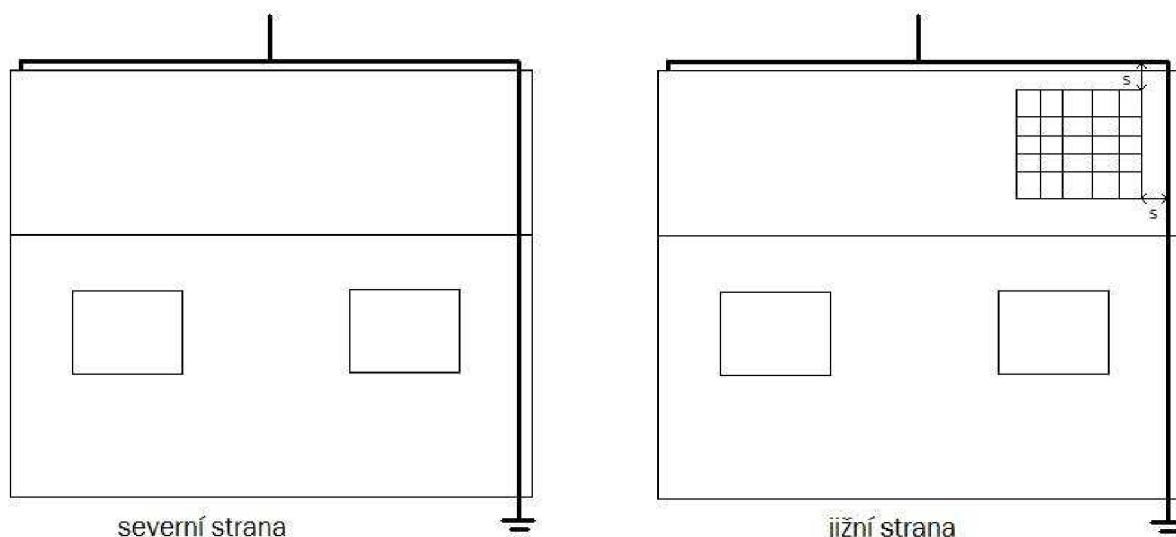
$K_c = 0,66$ (ČSN EN 62305-3 tabulka C.1)

$K_m = 1$ (ČSN EN 62305-3 tabulka 12)

$$s_{\min} = k_i \cdot \frac{k_c}{k_m} \cdot l = 0,04 \cdot \frac{0,66}{1} \cdot 9,3 = \underline{\underline{0,246 \text{ m}}} \quad (9.2)$$

- Zvolená bezpečná vzdálenost od FV panelů je **$s = 0,3 \text{ m}$**
- proud jedním svodem 66 Ka

Nosnou konstrukci FV panelů je třeba pospojovat s ekvipotenciální přípojnici (EP) měděným vodičem o minimálním průřezu 6 mm^2 . Vodič pospojování ani kabely od FV článků se nikde nesmí přiblížit k jímací soustavě na vzdálenost menší, než je vypočítaná vzdálenost s . Podle výstupního stejnosměrného napětí z FV panelů je nutné zvolit přepětovou ochranu, která se umísťuje co nejbližší k FV panelům pro jejich ochranu před indukovaným napětím. Na vstupu do invertoru instaluje stejná přepětová ochrana pro zabezpečení bezporuchového provozu invertoru.



Obr. 9-4 Orientační nákres hromosvodu

V rodinném domě, na který je FV systém navrhován bude měnič umístěn v podkroví, řádově několik metrů od samotných modulů, proto není třeba instalovat svodiče na oba konce vedení, ale postačí pouze umístění u invertoru. Toto řešení sebou přináší výhodu v tom, že po objektu není taženo stejnosměrné vedení s poměrně vysokým napětím, které v podstatě nelze vypnout.

Typ svodiče na DC straně invertoru:

CITEL DS60 PV 500

Nejdůležitější znaky:

- svodič přepětí typ 1 a 2, (třída B, C) speciálně pro fotovoltaiku
- impulsní bleskový proud $I_{imp}=12,5$ kA na jeden pól (vlna 10/350 μ s)
- tepelné odpojovací zařízení
- volitelný kontakt dálkové signalizace
- splňuje požadavky norem EN 61643-11 a IEC 61643-1

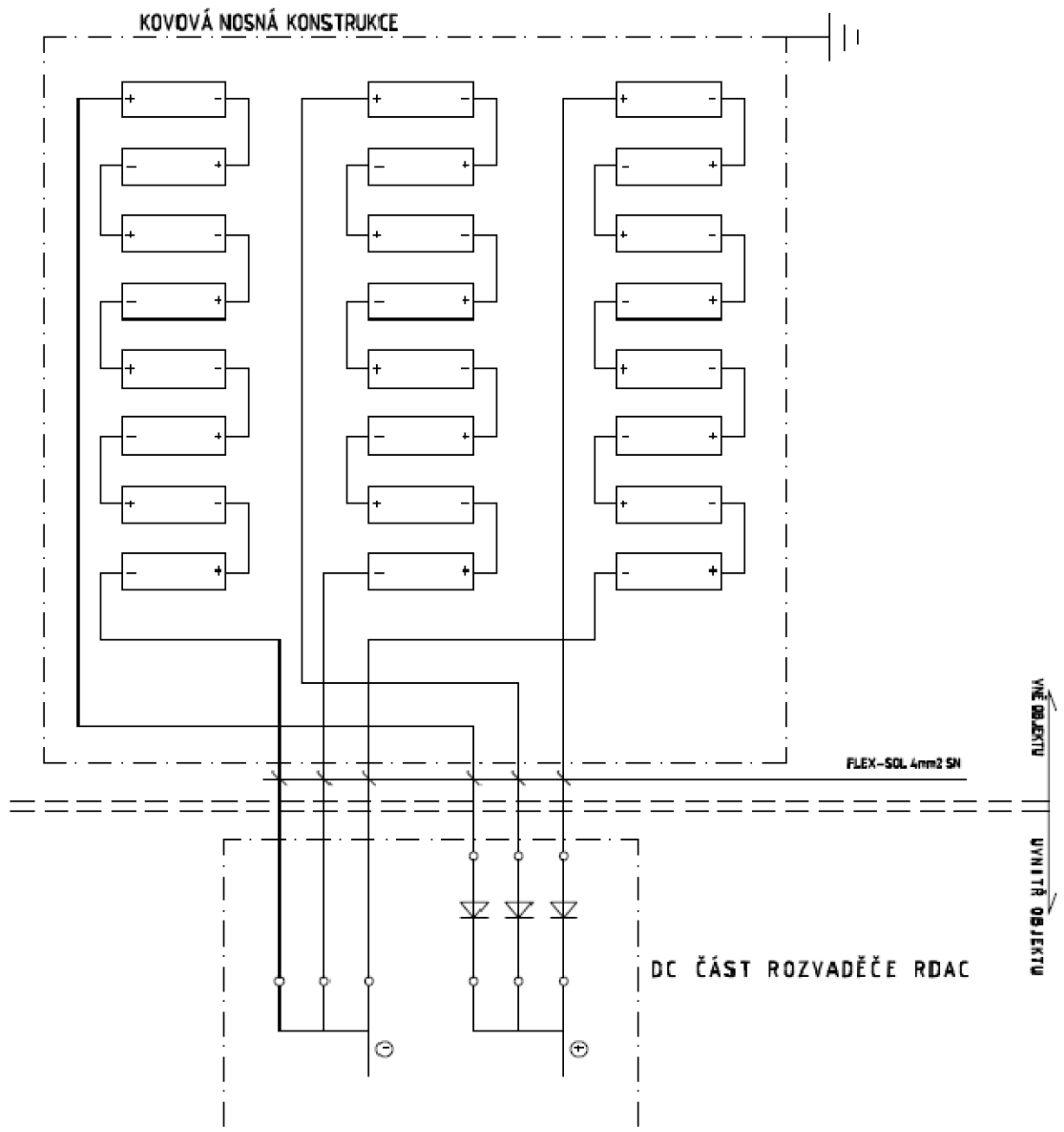
Typ svodiče na AC straně invertoru:

CITEL DS 125-300

Nejdůležitější znaky:

- výkonná ochrana před bleskovým proudem a přepětím na malém prostoru
- není žádný následný proud
- krátká reakční doba při vysokém svodovém proudu
- 3 stupně ochrany spojené v jednom přístroji
- sériově dodávaná dálková signalizace stavu přístroje
- hospodárné a prostorově úsporné

9.3 Sérioparalelní řazení FV panelů



Obr. 9-5 Sérioparalelní řazení FV panelů

Sestaveno je 24 monokrystalických panelů o celkovém instalovaném výkonu 4320 W.

Panely jsou již od výrobce vybaveny dostatečně dlouhým kabelem zakončeným vhodným konektorem, pomocí kterého se propojí do řetězců.

Zpětné diody jsou umístěny z důvodu částečného zastínění panelů a slouží jako ochrana kabeláže pro případ zkratového proudu uvnitř větve.

Z hlediska správného dimenzování invertoru musí být dodrženy podmínky:

1. VSTUPNÍ NAPĚTÍ - NAPĚTÍ SÉRIOVÉHO ŘETĚZCE (základní podmínka):

$$U_{DC\ INV\ max} > U_{OC\ -15^{\circ}C} (U_{OC} \cdot 1,15) \quad (9.3)$$

$$500\ V > 8 \cdot (44,4\ V \cdot 1,15)$$

$$\underline{500\ V > 408,5\ V \Rightarrow \text{podmínka splněna}}$$

2. VSTUPNÍ PROUD

$$I_{DC\ INV\ max} > I_{SC} \quad (9.4)$$

$$\underline{29,4\ A > 15,75\ A \Rightarrow \text{podmínka splněna}}$$

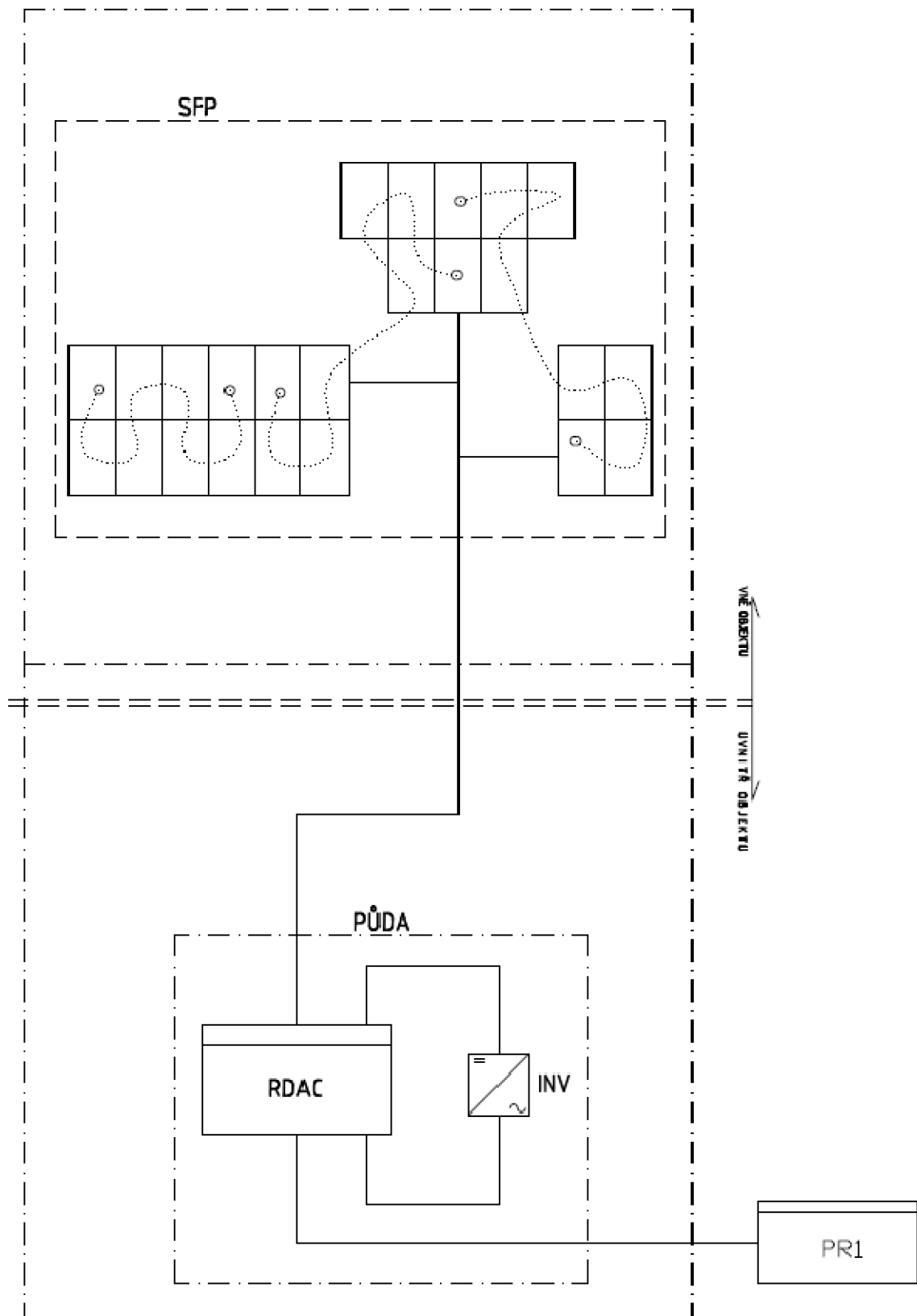
3. VSTUPNÍ VÝKON

$$P_{DC} = 1 - 1,15 \cdot P_{AC\ max} / \eta \quad (9.5)$$

$$\frac{0,943 \cdot 4320}{4100} = 1,0$$

- Tato podmínka zohledňuje hlavně velikost ztrát například oteplením, nebo na kabeláži. Pro navržený invertor je splněna.

9.4 Blokové schéma fotovoltaického systému 4,32 kWp



Obr. 9-6 Blokové schéma FV systému 4,32kWp na rodinný dům

10 ENERGETICKÉ A EKONOMICKÉ HODNOCENÍ FV SYSTÉMU

10.1 Odhad vyrobené elektrické energie z FV systému

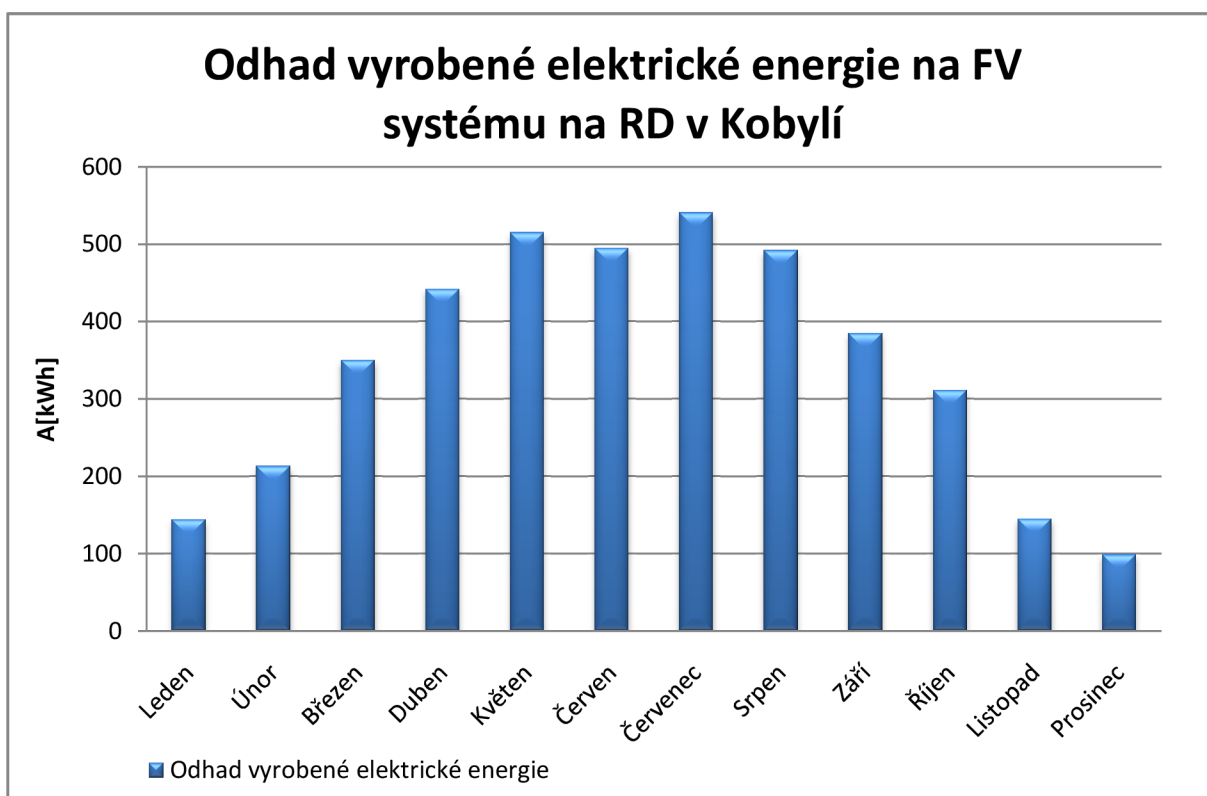
Odhadový výpočet vyrobené elektrické energie vychází z dat, která jsou dostupná na stránkách Evropské komise z PVGIS (Fotovoltaického informačního systému). Uživateli je zde poskytnuta možnost zjistit například odhadovanou intenzitu slunečního záření na jakémkoliv místě v Evropě. Systém vznikl ve snaze rozvoje obnovitelných zdrojů energie v Evropské unii.[14]

Uvažované hodnoty při výpočtu vyrobené energie z FV systému na RD v Kobylí:

- Instalovaný výkon FV systému: 4,32 kW
- Technologie: monokrystalický křemík
- Sklon modulů: 38°
- Orientace modulů: 9° k východu
- Odhadované ztráty vlivem teploty: 6,9%
- Odhadované ztráty vlivem úhlové odrazivosti: 2,9%
- Jiné ztráty (kabely, inverter, atd.): 14%
- Celkové ztráty v systému: 23,8%

Tab. 10-1 Odhad vyrobené elektrické energie z FV systému

měsíc	výroba za měsíc	výroba za den
	[kWh]	[kWh]
Leden	144	4,7
Únor	213	7,6
Březen	350	11,3
Duben	442	14,7
Květen	515	16,6
Červen	495	16,5
Červenec	541	17,5
Srpen	492	15,9
Září	385	12,8
Říjen	311	10,0
Listopad	145	4,8
Prosinec	99	3,2
roční průměr	344	11,3
celková roční výroba	4132	



Obr. 10-1 Odhad průměrného množství vyrobené el. energie

10.2 Výpočet doby návratnosti FV systému

Princip výkupních cen:

Ze zákona č. 180/2005 Sb. vyplývá povinnost pro provozovatele přenosové soustavy nebo distribuční soustavy připojit FV systém do přenosové soustavy a veškerou vyrobenou elektřinu vykoupit. Energetický regulační úřad udává výkupní cenu elektřiny pro daný rok. Tato cena bude vyplácena po dobu 20 let a každoročně bude navyšována o index PPI (Cenový index průmyslové výroby), který činí 2-4%.

Princip zelených bonusů:

Zeleným bonusem se rozumí finanční částka zohledňující snížené poškození životního prostředí využitím obnovitelného zdroje. Výrobce si musí najít obchodníka, kterému elektřinu prodá za tržní cenu. V momentu prodeje získá od provozovatele distribuční soustavy zelený bonus. Hodnotu zeleného bonusu stanovuje ERÚ.[5]

V současné době se pohybují měrné investiční náklady okolo 115000 Kč/kWp. Měrné investiční náklady mají klesající tendenci. Hlavním důvodem je každoročně se zvyšující instalovaný výkon fotovoltaických elektráren a s tím související snižování výrobních nákladů komponent. Do celkové návratnosti počáteční investice se promítá také fakt, že při instalaci na RD je sazba DPH 9%, V ostatních případech vždy 19%. Státní fond životního prostředí navíc může poskytnout dotaci na pořízení FVE až do výše 50% pořizovacích nákladů nejvíce však 200000 Kč.[15]

Doba návratnosti fotovoltaické elektrárny 4.32 kWp na RD v Kobylí

Tab. 10-2 Tabulka investičních nákladů

Investiční náklady			
komponenta	počet kusů	cena/kus	cena
panely SOLARTEC SG 180-5Z	24	16 710,00 Kč	401 040,00 Kč
měníč FRONIUS IG 40	1	56 600,00 Kč	56 600,00 Kč
rozvaděč	1	20 000,00 Kč	20 000,00 Kč
střešní konstrukce	1	20 000,00 Kč	20 000,00 Kč
kabely, konektory	1	5 000,00 Kč	5 000,00 Kč
cena celkem			502 640,00 Kč
cena s DPH 9%			547 877,60 Kč

Při výpočtu doby návratnosti investičních nákladů fotovoltaického systému 4,32 kWp na RD v Kobylí je nutno vycházet z následujících předpokladů:

- Zvolená forma podpory - „zelený bonus“
- FVS bude uveden do provozu v roce 2009, tzn. Výši zeleného bonusu 1191 Kč/MWh
- V době kdy FVS dodává výkon, RD spotřebuje 70% vyrobené energie
- Průměrná cena 1 kWh je 4Kč

Celková investice	547877,6 Kč
Množství vyrobené energie za rok	4132 kWh
Zelený bonus 2009	11,91 Kč/kWh
Průměrná cena kupované energie	4 Kč/kWh

Návratnost se vypočte podle vztahu:

$$DN = \frac{547877,6}{((4132 \cdot 11,91) + (0,7 \cdot 4132 \cdot 4))} = \underline{\underline{9,01 \text{ let}}} \quad (10.1)$$

Doba návratnosti bez vlastní spotřeby:

$$DN = \frac{547877,6}{(4132 \cdot 11,91)} = \underline{\underline{11,13let}} \quad (10.2)$$

Při výpočtu návratnosti jsme zanedbali snižování výkonu panelů a proměnnou výši zeleného bonusu, který každý rok uveřejňuje ERÚ. Z výše uvedený rovnice vyplývá, že pokud bychom dokázali využít více jak 70% vyrobené energie z FVS, doba návratnosti by se ještě snížila.

Teoreticky by měl FVS zajistit roční výnos 49212 Kč za rok a 984243 Kč za 20 let (doba životnosti a zároveň doba garantovaného výkupu). V této úvaze není zahrnuta úspora peněz z nenakoupené elektrické energie.

11 ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá tématem využití fotovoltaiky v ČR. Vývoj fotovoltaiky můžeme shrnout do posledních deseti let, kdy se v tomto odvětví dosáhlo největšího pokroku. V současné době instalovaný výkon FV systémů rapidně roste, ale v celosvětovém měřítku je v porovnání s ostatními zdroji energie její podíl zanedbatelný a používá se spíše jako doplňkový zdroj energie.

V České republice je její podíl také malý, i když instalovaný výkon se zvýšil od roku 2007 do roku 2008 z 5,36 MW na 54,67 MW. Z dvanácti nových členských států Evropské unie má ČR instalovaný výkon z FV systémů největší. Nejlepší podmínky pro využití FV systémů jsou na Jižní Moravě a ve Středních Čechách.

Fotovoltaické elektrárny rozeznáváme podle použité výrobní technologie FV panelů. Jsou to monokrystalické, polykrystalické (multikrystalické), amorfnní. Monokrystalické mají nejsložitější výrobní technologii a největší spotřebu čistého křemíku a dosahují nejvyšší účinnosti. Polykrystalické články se dají vyrábět v různých tvarech a technologie je méně náročná. Amorfnní panely se vyznačují ohebností nejmenší spotřebou křemíku a nejmenší účinností. V oblasti výzkumu jsou články z jiných materiálů, než je křemík.

FV systém byl navržen na sedlovou střechu rodinného domu v obci Kobylí na Jižní Moravě. Dům je postaven v nadmořské výšce 212 m. n. m.. Jižní strana sedlové střechy se sklonem 38° je orientována 9° k východu, což jsou velmi dobré podmínky k umístění FV panelů. Poloha FV panelů je prostorově navržena tak, aby byla eliminována možnost jejich zastínění. FV systém je složen z 24 monokrystalických panelů SOLARTEC o celkovém instalovaném výkonu 4,32 kWp. Každá ze tří paralelních větví obsahuje 8 panelů v řetězci. Sérioparalení řazení panelů bylo navrženo ze vstupních parametrů měniče Fronius IG 40, který je podle technických údajů vhodný pro tento instalovaný výkon. Před vstupem do měniče je umístěna DC přepěťová ochrana a za měničem AC přepěťová ochrana, měnič je navržen do podkroví, tak aby po domě nebyla vedena stejnosměrná kabeláž. Navržený FV systém bude ročně generovat 4132 kWh elektrické energie. Do tohoto výpočtu jsou zohledněny odhadované ztráty vlivem oteplení, které negativně působí hlavně v letních měsících, dále odhadované ztráty vlivem úhlové odrazivosti a také ztráty na kabelech a v měniči. Výpočet vychází z průměrných hodnot. Na základě znalosti energetického zisku je spočtena doba návratnosti investice, která činí přibližně 9 let. Výpočet byl prováděn za předpokladu pořizovací ceny FV systému 547877,6 Kč. Dalšími předpoklady bylo uvedení do provozu v roce 2009, kdy je cena zeleného bonusu 11,91 Kč/kWh a průměrná cena distribuované elektřiny 4 Kč/kWh a 70% spotřeba energie z FV panelů rodinným domem. Doba návratnosti se bude v průběhu funkce měnit podle schopnosti využívat vyrobenou el. energii FV systémem pro vlastní potřebu.

Roční výnos pouze na „zelených bonusech“ by činil 49212 Kč a za 20 let by to byla částka 984243 Kč.

V těchto úvahách není zohledněn fakt, že výkon FV panelu nepatrně klesá s časem a cena zeleného bonusu není dopředu známa a každý rok o ní rozhoduje ERÚ. FV systém je sice téměř bezúdržbový, ale jistý náklad může vzniknout například pojištěním FV systému.

Z ekonomického hlediska se FV systém v podmínkách ČR jeví jako výhodný.

Z hlediska energetického zisku nejsou v ČR podmínky ideální. FV systémy by byly mnohem lépe využity v rámci Evropy například ve Španělsku, Portugalsku a na jihu Itálie.

Vzhledem k tomu, že FV elektrárny zabírají velkou plochu na jednotku instalovaného výkonu, bylo by užitečné vystavět je na místech, kde nemůže být plocha využita jinak a efektivněji. Například by bylo možné využívat americké, africké a asijské pouště, protože na plochu 1 m^2 na území afriky dopadá ročně průměrně 2800 kWh energie. V ČR je tato hodnota průmětu kolem 1000 kWh na 1 m^2 . V oblasti kolem rovníku je hodnota ideálního úhlu sklonu FV panelů nulová, proto by se potřeba zastavěné plochy ještě zmenšila.

Jako každý zdroj elektrické energie mají FV systémy své výhody i nevýhody. Mezi hlavní výhody můžeme řadit fakt, že při výrobě elektrické energie nevznikají skleníkové plyny a sluneční záření je „nevyčerpatelné“. Další výhodou je patrná z faktu, že existují místa bez distribuované elektrické energie (odlehle chaty), kde by bylo nákladné a neefektivní připojovat místo spotřeby, proto je výhodnější instalovat FV systém tak, aby stačil pro pokrytí spotřeby. Další výhodou je nenáročnost FV systémů, které nepotřebují téměř žádnou obsluhu.

Mezi nevýhody patří nutnost velké zastavěné plochy na jednotku instalovaného výkonu, náročný způsob akumulace, poměrně malá účinnost a vysoké investiční náklady na instalaci.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] LIBRA, M., POULEK, V. Solární energie, Fotovoltaika – perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti. *ČZU v Praze, 2006*, str. 47-76, ISBN 80-213-1488-5
- [2] MURTINGER, K, BERANOVSKÝ J., TOMEŠ M.. Fotovoltaika. Elektřina ze slunce. ERA Brno 2007, 34 stran, ISBN:978-80-7366-100-7
- [3] LIBRA, M., POULEK, V. Zdroje využití energie. *ČZU v Praze, 2007*, str. 50-64, ISBN 978-80-213-1647-8
- [4] MURTINGER, K, TRUXA J. Solární energie pro váš dům. ERA Brno 2007, str. 51-61, ISBN:80-7366-076-8

POUŽITÉ INTERNETOVÉ ODKAZY

- [5] Česká agentura pro obnovitelné zdroje energie. Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druh-yoze/fotovoltaika>
- [6] LIBRA, M., POULEK, V. Fyzikální podstata fotovoltaické přeměny energie. *Světlo 2005/1*, www.odbornecasopisy.cz/download/sv010532.pdf
- [7] Otevřená encyklopedie. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Polovodi%C4%8D#Polovodi.C4.8D_typu_N
- [8] Centrum pro obnovitelné zdroje energie. Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/energie-slunce---vyroba-elektriny>
- [9] Technická zařízení budov. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4453&h=13&pl=49>
- [10] Vaněče M. Přeměna sluneční energie v energii elektrickou, 2004. Dostupné z: http://www.fzu.cz/texty/brana/fotovoltaika/slunecni_energie.php
- [11] MARŠÍK, F., ZIMA, P., KLOMFAR J Možnosti kombinovaného solárního topení a chlazení s využitím fotovoltaiky, sborník příspěvků z odborného semináře ČVUT v Praze 2007 http://www.czrea.org/files/pdf/studie/Sbornik_hybridy.pdf
- [12] Solartec. Výroba solárních článků a fotovoltaické aplikace. Dostupné z: <http://www.solartec.cz/cs/projekty/zajimavosti/mereni-clanku.html>
- [13] Laboratorní podklady pro měření na fotovoltaickém článku. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat451/studium/studium_soubory/studijni_materialy/el/mereni2.doc
- [14] PVGIS. Dostupné z: <http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/radmonth.php?lang=sk&map=europe>
- [15] Solarway. Výroba elektřiny s pomocí slunce. Dostupné z: <http://www.solar-way.cz/kalkulace/>
- [16] Status of photovoltaics. Dostupné z: 2008 <http://www.czrea.org/cs/studie-a-analyzy/status>