

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGY INSTITUTE

MALÝ FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM

SMALL PHOTOVOLTAIC SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAN JUST

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

DOC. ING. JIŘÍ POSPÍŠIL, PH.D.

BRNO 2010

Zadání

Náplní práce je problematika využití sluneční energie pro výrobu energie elektrické.

Cíle bakalářské práce:

1. Představte základní princip fotovoltaických článků
2. Uveďte základní typy fotovoltaických článků a jejich účinnosti
3. Uveďte přehled možností pro zvyšování produkce elektrické energie z fotovoltaických panelů.
4. Proveďte návrh malého fotovoltaického systému pro zvolený RD.
5. Proveďte technicko-ekonomické zhodnocení navrženého systému.

Abstrakt

Bakalářská práce popisuje dnešní podobu fotovoltaiky. V úvodní části je popsán samotný zdroj solární energie, základní princip její přeměny na elektrickou a jeho historie.

V navazujících oddílech práce shrnuje druhy fotovoltaických článků, jejich členění z hlediska ekonomického, druhu použitého materiálu a stručný popis získaných vlastností. Vlastní práce dále obsahuje konstrukci fotovoltaických panelů a následné uspořádání do celků (systémů) s připojením k distribuční elektrické síti nebo bez něj, shrnuje dostupné technologie vhodné pro zvyšování účinnosti a současné legislativní podmínky pro provoz fotovoltaických elektráren v České republice. Nosná část celé práce je založena na návrhu fotovoltaického systému grid-on pro reálný objekt - rodinný dům. Zahrnuje komplexní studii zabývající se polohou daného objektu, volbou vhodných komponent a výpočtem jejich celkové produkované elektrické energie včetně teoretické kalkulace návratnosti investic.

V závěrečné části jsou prezentovány dosažené cíle, výhody a nevýhody investice a samotná realizovatelnost projektu v praxi.

Abstract

This thesis describes the fotovoltaics at the present time. Introduction includes information regarding to resources of solar energy, main principle of transformation solar energy to electrical and history.

Next parts summarise types of solar cells in economical term, types of material and description of their properties. Thesis includes the construction of fotovoltaic panel and its configuration to fotovoltaic systems with or without connection to electrical power network, contains convenient technologies for improving efficiency and the czech legislation. Final part focuses on designing grid-on system for real object including komplex study of object location, used components and calculation of whole produced electric energy and pay-back time.

The main aims are presented in conclusion as well as advantages and disadvantages of the investment.

Klíčová slova

Fotovoltaický systém, fotovoltaický jev, fotovoltaický efekt, grid-on systém, grid-off systém

Keywords

Photovoltaic system, photovoltaic phenomenon, photovoltaic effect, grid-on system, grid-off system

Bibliografická citace VŠKP dle ČSN ISO 690

JUST, J. MALÝ FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 44 s.

Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že tato bakalářská práce byla zhotovena pouze mojí osobou bez cizí pomoci. Potřebné informace jsem zpracoval z osobních znalostí, z literatury uvedené v seznamu a z odborných konzultací.

V Brně dne:

Podpis:.....

Obsah

1. <u>Úvod</u>	7
1.1 Slunce jako zdroj energie.....	7
1.2 Historie fotovoltaiky.....	8
2. <u>Fotovoltaický článek</u>	9
2.1 Princip fotovoltaického článku.....	9
2.2 P-N přechod.....	9
2.3 Druhy fotovoltaických článků.....	10
2.3.1 Články z polykrystalického křemíku.....	10
2.3.2 Články z monokrystalického křemíku.....	11
2.3.3 Články z amorfního křemíku.....	11
2.4 Generace fotovoltaických článků.....	12
2.4.1 Články I.generace.....	12
2.4.2 Články II.generace.....	12
2.4.3 Články III.generace.....	13
2.4.4 Články IV.generace.....	14
3. <u>Fotovoltaický panel</u>	14
4. <u>Fotovoltaické systémy</u>	15
4.1.1 Drobné aplikace ve fotovoltaice.....	15
4.1.2 Ostrovní systémy (grid-off).....	16
4.1.2.1 Ostrovní systémy s přímým napájením.....	16
4.1.2.2 Ostrovní systémy s akumulací energie.....	16
4.1.3 Hybridní ostrovní systémy.....	17
4.1.4 Systémy grid-on.....	17
5. <u>Zapojení fotovoltaických panelů</u>	18
6. <u>Možnosti zvyšování účinnosti FV panelů</u>	18
6.1 Antireflexní vrstva.....	19
6.2 Koncentrátory.....	19
6.2.1 Koncentrátory s rovinným zrcadlem.....	20
6.2.2 Koncentrátory s parabolickým zrcadlem.....	20
6.3 Natáčení panelů za Sluncem.....	20
6.3.1 Rozdělení natáčecích modulů.....	21
6.3.1.1 Polární.....	21
6.3.1.2 Natáčecí moduly s horizontální osou.....	21
6.3.1.3 Natáčecí moduly s vertikální osou.....	21

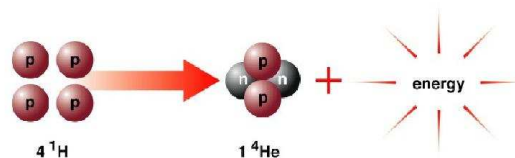
7. <u>Průzkum trhu z hlediska účinnosti FV panelů</u>	22
8. <u>Legislativa fotovoltaických systémů v ČR</u>	24
8.1 Současné podmínky pro provozování FV elektrárny v ČR.....	24
8.2 Výkupní ceny a legislativní změny pro rok 2011.....	24
9. <u>Typy záření a jejich měření</u>	26
9.1 Specifikace přímého záření.....	26
9.2 Měření dopadajícího záření.....	27
10. <u>Návrh FV systému</u>	28
10.1 Průměrný úhrn dopadajícího záření.....	28
10.2 Reálný model řešené situace.....	30
10.3 Jižní střecha.....	31
10.3.1 Rozmístění fotovoltaických panelů na jižní střеше.....	31
10.3.2 Výpočet produkce elektřiny na jižní střеше.....	32
10.3.3 Kalkulace návratnosti investice v případě jižní střechy.....	33
10.4 Západní střecha.....	34
10.4.1 Rozmístění fotovoltaických panelů na západní střеше.....	34
10.4.2 Výpočet produkce elektřiny v případě západní střechy.....	35
10.4.3 Kalkulace návratnosti u západní střechy.....	36
10.4.4 Studie pohybu Slunce po obloze.....	37
10.5 Zapojení komponent fotovoltaického systému.....	39
11. <u>Závěr</u>	40
12. <u>Seznam použitých symbolů</u>	41
13. <u>Seznam použitých zdrojů</u>	42
13.1 Seznam použité literatury.....	42
13.2 Seznam zdrojů obrazové dokumentace a tabulek.....	44

1 Úvod

1.1. Slunce jako zdroj energie

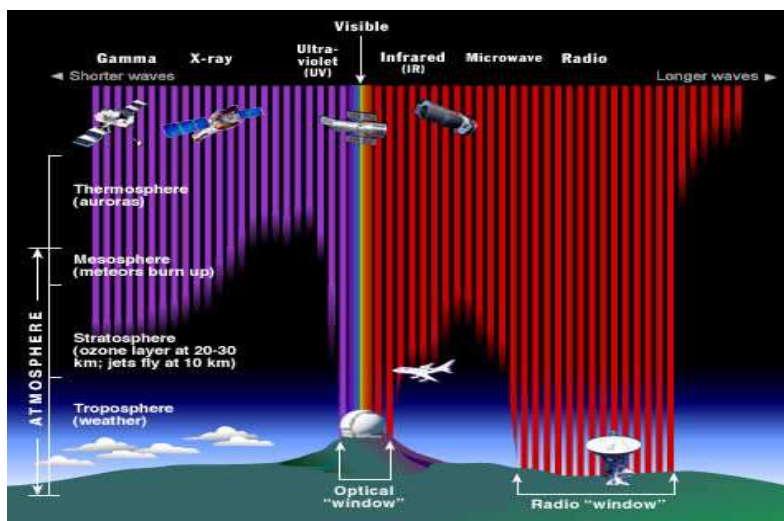
Slunce je centrem planetární soustavy, do níž patří také naše Země. Je nám nejbližší hvězdou a ze všech hvězd je pro nás nejdůležitější. Je zdrojem veškeré energie pro naši planetu. [1]

Hlavní zdroj energie Slunce je jaderná fúze. Jedná se o proces, při kterém dochází ke sloučení lehkých atomových jader a zároveň dochází k uvolnění energie. Proti slučování jader působí odpuzivá elektrická interakce (obě jádra jsou kladně nabitá). Dostanou-li se však lehká jádra dostatečně blízko k sobě, převládne nad elektrickou silou přitažlivá jaderná síla a obě jádra se sloučí. Rozdíl mezi klidovými hmotnostmi jader před a po sloučení se uvolní ve formě energie. [2]



Obr. 1 - jaderná fúze, zdroj: [1]

Množství uvolněné energie lze z rozdílu hmotností vypočítat dle známého Einsteinova vztahu $E=m \cdot c^2$. V případě Slunce se jedná o slučování jader vodíku, přičemž vzniká helium a další těžší prvky. Ve Slunci ubude každou sekundu 4,26miliónu tun hmoty, což představuje uvolnění $3,8 \cdot 10^{26}$ energie. Povrch Slunce vyzařuje energii jako „absolutně černé těleso“, tj. vysílá paprsky v celém rozsahu spektra od nejmenších vlnových délek 10^{-10} m (rentgenové a ultrafialové záření) až do největších centimetrových a metrových délek (rádiové záření). Největší část však připadá na vlnové délky $0,2 \cdot 10^{-6}$ až $3 \cdot 10^{-6}$ m (světelné a infračervené záření). Sluneční záření na cestě k Zemi dlouhé 150miliónu km není ničím pohlcováno a přichází na hranici atmosféry Země v původní podobě, s níž opustilo Slunce, avšak při značně zmenšené intenzitě tím, že se s rostoucí vzdáleností rozptýlí na větší plochu. Na plochu kolmou ke slunečním paprskům dopadá na povrch zemské atmosféry měrný tok energie asi $1,4 \cdot 10^3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. To je tzv. sluneční konstanta. Z celkového výkonu, který Slunce vyzařuje, dopadne na naši Zemi jen nepatrná část- přibližně jedna dvoumiliardtina, tj. asi $1,8 \cdot 10^{14}$ kW. Rovněž nepatrná část je zachycena ostatními planetami. Zbývající tok záření, tj. téměř celý tok vyzařované sluneční energie, uniká do mezihvězdného a mezigalaktického prostoru. Pro život na Zemi má však význam jen ona dvoumiliardtina, kterou naše planeta zachytí. [1]



Obr. 2 – Pohlcování světelného spektra atmosférou, zdroj: [2]

Část dopadající energie je však při průchodu atmosférou pohlcena či odražena a na zemský povrch tedy dopadá (v závislosti na momentálním stavu atmosféry) již méně než 1kW při slunečním svitu a jen desítky wattů při zatažené obloze. Po průchodu atmosférou je spektrum slunečního záření pozměněno a ochuzeno o některá pásma, protože dochází k absorpci a rozptýlu

molekulách plynů tvořících atmosféru a na částicích prachu nebo aerosolů v atmosféře přítomných. Celkem na povrch Země osvětlený Sluncem dopadá zářivý výkon 180 000TW. Spotřeba celé naší civilizace je pouze asi 10TW (energie z uhlí, nafty, zemního plynu, z jaderných elektráren, biomasy i energie obsažená v potravě. Nabídka solární energie je tedy více než dostatečná k tomu, aby byla schopna případně nahradit všechny ostatní zdroje. [3]

1.2 Historie fotovoltaiky

Lidstvo pozorovalo po tisíciletí sluneční činnost a její vliv na život na Zemi. Některá pozorování využívali stavitelé pyramid, chrámů a měst. Jiná pozorování sluneční činnosti vedla k regulaci a režimu obdělávání zemědělské půdy apod. V novověku úměrně s rozšiřováním experimentální a vědecké činnosti byly postupně objevovány další vlastnosti Slunce. Zásadní objev, který využívá slunečního záření - fotovoltaika (PV – photovoltaic) - pochází z Francouzské rodiny Becquerelů, která dala světu v průběhu 160 let čtyři generace významných fyziků stejného příjmení. Zatímco zakladatel této vědecké dynastie Antoine César Becquerel (1788 - 1878) objevil piezoelektrický jev, kdy pod vlivem tlaku, tahu, nebo krutu vzniká na ploše krystalu náboj, jeho mladší syn Alexandre Edmond Becquerel (1820 – 1891), učinil již ve svých 19 letech v roce 1839 objev - fotovoltaiku, který našel svoje praktické uplatnění až po 120 letech. Při laboratorních pokusech vložil do nádoby naplněné elektrolytem, rozdělené průlinčitou stěnou dvě platinové elektrody. K elektrodám připojil galvanometr a nádobu světlotěsně zakryl. Ručička galvanometru nevykázala žádnou výchylku. Poté nádobu odclonil a elektrody osvětlil. Mezi elektrodami vzniklo napětí a ručička galvanometru se vychýlila. Poprvé tak byla pozorována přímá přeměna světlené energie na elektřinu a objevena fotovoltaika jako „rezerva“ pro současnou dobu. Název tohoto objevu vznikl složením řeckého slova foto = světlo a voltaický, které je odvozeno od jména Italského fyzika Antonia Volty (1745 – 1827), který zkonstruoval první galvanický článek. V letech 1876 prováděli v návaznosti na objev fotovoltaiky pokusy další fyzici W.Adams a R.Day. Osvětlením krystalů selenu zaznamenali stejný výsledek jako Alexander Becquerel. Pozdější pokusy a výzkumy prokázaly jako nejvhodnější polovodič především křemík. Křemík je po kyslíku druhým nejvíce zastoupeným prvkem na Zemi a tvoří 26–28% zemské kůry. V roce 1904 vysvětlil Albert Einstein fotoelektrický jev jako vznik volného elektronu po absorpci světelného kvanta. V roce 1921 pak obdržel za svoji práci Nobelovu cenu. Současný fotoelektrický článek tvoří polovodičová součástka, která převádí energii fotonu (nejmenší a dále nedělitelné množství světelné energie „atom světla“). Tato malá tělíčka - částičky energie, které A. Einstein nazval fotony, nemají elektrický náboj a proto na světlo nepůsobí elektrické nebo magnetické pole. [4]

2 Fotovoltaický článek

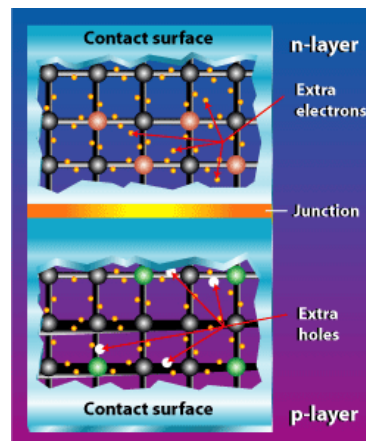
Vzhledem ke stále většímu zájmu o životní prostředí, které se stává každodenním tématem především ve spojitosti se skleníkovým efektem, je právě využívání solární energie jednou z uvažovaných alternativ. Sluneční energii jsme schopni přeměnit v energii tepelnou či elektrickou. Změna na elektrickou energii, jíž se tato práce věnuje, je realizována pomocí tzv.fotovoltaických článků.

2.1 Princip fotovoltaického článku

Elektrickou energii je možno získávat z proudu fotonů díky volným elektronům, které jsou obsaženy v každém kovu. U většiny kovových materiálů však nejsme schopni zajistit potřebnou energii k přemístění elektronů nebo usměrnit tok záporně nabitých částic požadovaným směrem. Naší snahou je tedy dodanou energií uvolnit (emitovat, vyzářit) volný elektron ze své pozice tak, aby prošel elektrickým obvodem a vrátil se na své původní místo. Při průchodu elektrickým obvodem předá elektron svou energii našemu elektrickému spotřebiči, který vykoná práci. Tuto vlastnost nejlépe splňují polovodiče, tedy látky ležící mezi vodiči a izolanty. U těchto látek snadno vznikají volné elektrony dodáním tepla či zářením – v našem případě slunečním. K tomu, aby výše zmíněný děj mohl být v technické praxi realizován je zapotřebí tzv.p-n přechod. [3]

2.2 P-N přechod

P-N přechod se skládá ze dvou polovodičů – typu P a N. U polovodiče typu P převládají v jeho struktuře díry, tzn.místa, kde chybí elektron. Tohoto efektu se docílí v případě čtyřmocného křemíku jeho dopováním třímocným prvkem, např.borem(akceptor). U polovodiče druhého typu je tomu přesně naopak – převládají elektrony, které se do jeho struktury dostávají přidáním pětímocného prvku, např.fosforu(donor). Vzhledem k rozdílnému počtu elektronů jeden z nich nenajde svůj protějšek, může se tedy lehce uvolnit z vazby a putovat skrz krystalovou mřížku. [5]

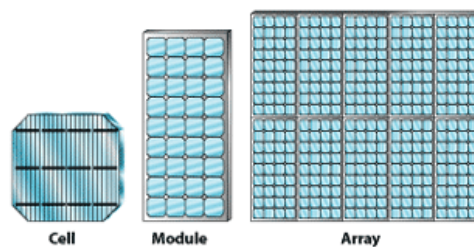


Obr.3 - P-N přechod, zdroj: [3]

Těsným spojením obou zmíněných polovodičů se snaží oba materiály vyrovnat koncentrace, elektrony difundují do části P, díry naopak. Popsaný děj, tedy zapadání elektronu do děr, se nazývá rekombinace nábojů. Přemísťování elektronů a děr na opačné strany způsobuje vznik kladně nabitých nábojů na straně polovodiče typu N a záporně nabitých na straně polovodiče typu P. V důsledku opačně nabitých nábojů vzniká elektrické pole, které zabraňuje dalšímu difundování elektronů či děr. Vodivost tenké vrstvy (P-N přechodu) mezi oběma polovodiči klesá a vzniká elektrický potenciál. Právě na tomto principu je založena usměrňovací dioda či samotný fotovoltaický článek, v němž se generují díry i volné elektrony dopadajícími paprsky slunečního záření, které přechází na opačné

strany. Následně jsou odděleny vzniklým elektrickým polem a rozdílné potenciály (vrstva N je záporný pól, vrstva P kladný pól) dávají vznik napětí. [3]

Kvůli poměrně malému napětí generovaného jediným fotovoltaickým článkem (v řádech desetinách voltů, pro křemík cca 0,6V) jsou tyto články spojovány do série, tvořící větší celky – tzv. moduly, které po dalším propojení mohou tvořit fotovoltaická pole. Z uvedeného vyplývá, že k přemístění elektronu je spotřebována ta energie, kterou mu předá dopadající foton. Fotovoltaický článek dokáže přirozeně využít pouze ty fotony, jejichž energie je dostačující k přesunu elektronu z jedné vrstvy do druhé. Energie fotonů je přímo určena jeho vlnovou délkou přičemž platí, že čím kratší vlnová délka, tím větší energie je ve fotonu obsažena. Nejběžnější křemíkový článek dokáže pojmout celé viditelné spektrum plus část infračerveného záření, jehož podíl je však vzhledem k dlouhým vlnovým délkám poměrně nevýznamný. Tato energie však není využita v článku zcela beze zbytku, její přebytky se přemění v teplo. Hlavní snahou ve zvyšování účinnosti fotovoltaických článků je najít ideální hodnotu energie fotonu, která by zapříčinila přesun elektronu beze ztrát. [6]



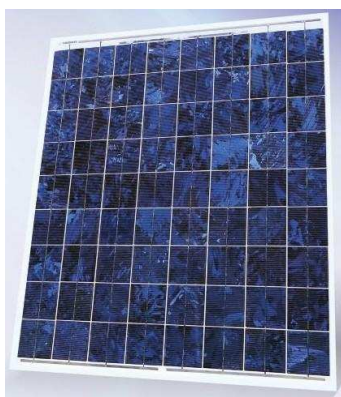
Obr.4 - Hierarchie fotovoltaiky, zdroj: [4]

Obr.4 - Hierarchie fotovoltaiky, zdroj: [4]

2.3 Druhy fotovoltaických článků

Drtivá většina fotovoltaických článků dostupná na trhu v daném odvětví je vyráběna z křemíku. Vzhledem k dobré dostupnosti křemíku (zastoupení na zemi cca 26%) a zvládnuté technologii výroby tohoto prvku o vysoké čistotě, který se právě využívá ve fotovoltaickém průmyslu, je křemík suverénně nejpoužívanější. V praxi se můžeme setkat s nejčastější s následujícími druhy křemíkových článků:

2.3.1 Články z polykrystalického křemíku



Obr.5 - Vzhled panelu z polykrystalického křemíku, zdroj: [22]

V dnešní době jde o nejběžnější typ článků. Vyrábí se odléváním čistého křemíku do vhodných forem a řezáním vzniklých ingotů na tenké plátky. Odlévání je podstatně jednodušší než tažení monokrystalu (viz níže) a lze také připravit bloky se čtvercovým nebo obdélníkovým průřezem (lepší využití materiálu). Takto vyrobené články mají trochu horší elektrické vlastnosti (nižší proud a účinnost), protože na styku jednotlivých krystalových zrn (jejich rozměry jsou v řádu milimetrů) je větší odpor. Zásadní výhodou je ale to, že výchozí surovina je levnější a lze je vyrábět ve větších rozměrech a s obdélníkovým nebo čtvercovým tvarem. [3]

2.3.2 Články z monokrystalického křemíku

Obr.6 - Vzhled panelu z monokrystalického křemíku, zdroj: [23]



Základní a nejstarší typ fotovoltaických článků jsou články vyráběné z monokrystalického křemíku, tj. rozměr krystalů je v řádu 10cm (nežnamená to, že by muselo jít o jeden neporušený krystal). Vyrábí se z ingotů (tyčí) polykrystalického křemíku zpravidla Czochralského metodou, tj. pomalým tažením zárodků krystalu z taveniny velmi čistého křemíku. Ingoty monokrystalického křemíku se rozřežou speciální drátovou pilou (větší množství paralelně napnutých drátů s pomocí vhodného abraziva řeže najednou) na tenké plátky (silné přibližně 0,25 až 0,35mm a v poslední době lze vyrábět články o tloušťce pouze 0,1mm). Souběžně s poklesem tloušťky destiček se podařilo zmenšit i odpad při řezání. Plátky se zarovnají na rovnoměrnou tloušťku, vyleští a na povrchu odleptají, aby se odstranily nečistoty a nepravidlosti. Polovodičový p-n přechod se na destičkách vytvoří přidávkem fosforu, který utvoří na povrchu vrstvu s vodivostí typu n. Jedná se o energeticky náročnou a tedy značně nákladnou výrobu. [3]

2.3.3 Články z amorfního křemíku



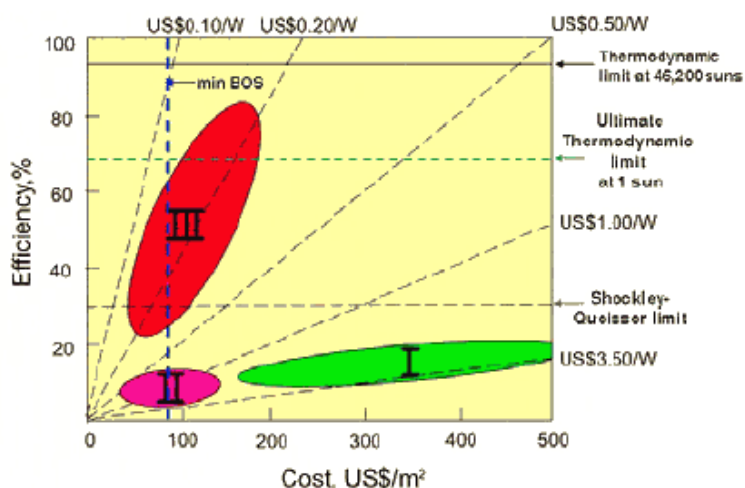
Obr.7 - Vzhled panelu z amorfního křemíku, zdroj: [24]

Zásadní odlišnost amorfních modulů spočívá již v jejich samotné výrobě. Zatímco krystalický křemík se vyrábí ze surovin ve vysokých pecích a poté jsou ingoty křemíku upravovány do podoby článků, moduly z amorfního křemíku jsou vyráběny tak, že je ve vakuové komoře při teplotách kolem 200°C napařováním nanášena vrstva amorfního křemíku na skleněnou tabuli. Podkladovým materiálem nemusí být nutně pouze sklo, ale i plasty nebo kovové folie. Zatímco klasické krystalické články mají tloušťku cca 0,3 mm, amorfni křemík je nanášen do vrstev nepřesahujících 0,001 mm, odtud označení "tenkovrstvá technologie". Výroba amorfních modulů je tedy levnější, méně materiálově i energeticky náročná oproti krystalickým technologiím. Na druhou stranu dnešní amorfni moduly významně zaostávají za krystalickými v parametru účinnosti - dosahují oproti monokrystalu přibližně poloviční účinnosti. Účinnost však nic neříká o kvalitě samotné technologie, účinností je dána pouze plošná rozloha panelů, která je nutná pro dosažení špičkového výkonu 1kW. Pokud 1kWp u krystalických technologií znamená cca 8 metrů čtverečních panelů, pak u tenkovrstvé technologie je třeba cca 16 metrů čtverečních. Amorfni panely jsou odlišné rovněž svým vzhledem. Tenkovrstvé moduly z amorfního křemíku produkují v prvních 60 hodinách provozu přibližně o 30% vyšší výkon, než je výkon nominální (udávaný výrobcem). Dále je pak výkon cca o 15% vyšší, ale během následujícího roku postupně klesá, až se ustálí na výrobcem deklarované nominální hodnotě. Tento jev se nazývá Staebler-Wronski efekt. Amorfni křemík má proti krystalickému křemíku jednu

velkou výhodou, netrpí totiž tolik na letní přehřívání. Amorfni křemík má nižší teplotní součinitel výkonu, jeho účinnost tedy s rostoucí teplotou klesá podstatně pomaleji, než jak je tomu u krystalického křemíku. V letních měsících je tedy z amorfni modulů lepší výtěžnost. Další výhodou je samotná vzhledová odlišnost modulů založených na amorfni křemíku - může být použitelný na místech, kde byla z estetických, krajinářských nebo podobných důvodů úředníky výstavba sluneční elektrárny zakázána, týká se to například památkově chráněných zón, CHKO apod. Amorfni křemík je také technologií vhodnou na místa, kde není možné splnit požadavek optimální orientace fotovoltaického systému, tedy v případech, kdy je kolektorové pole nutné orientovat spíše k východu nebo k západu, tedy u odchylek více než 45° od jihu. Cenové a výkonnostní výhody amorfniho křemíku pomáhají kompenzovat ztráty, které plynou z neoptimální orientace panelů. V těchto podmínkách jsou výhodnější než moduly z krystalického křemíku. [19]

2.4 Generace fotovoltaických článků

Fotovoltaika se stala největším odběratelem zdrojového polykrystalického křemíku již před 2 roky a přibližně od té doby jeho cena začala poměrně prudce růst. Tento vývoj jen zdůraznil potřebu dalšího základního výzkumu v oblasti nových materiálů a struktur pro fotovoltaiku, který je často charakterizován pomocí tří, resp. čtyř generací fotovoltaických článků. [7]



Obr.8 - Poměr účinnosti k ceně, zdroj: [5]

2.4.1 Články I.generace

Za články první generace jsou označovány křemíkové deskové články. Tyto články tvoří přes 95 % současné produkce fotovoltaického průmyslu. Dosahují vysokých účinností fotovoltaické přeměny blízkých se 20%, ale díky vysoké spotřebě velmi čistého křemíku jsou poměrně drahé (300 - 500 USD/m²). Prakticky důležitý je podíl ceny ku maximu instalovaného výkonu tj. watt peak (Wp), který u nich dosahuje cca 3,5 USD/Wp. [7]

2.4.2 Články II.generace

Menší spotřeba drahého vstupního materiálu byla motivem pro druhou generaci článků založených na tenkých vrstvách. Hlavní představitelé druhé generace jsou články založené na tenkých vrstvách amorfniho nebo mikrokřemíku, které na jednotku výkonu vyžadují až stokrát méně křemíku než deskové články. Dosahované účinnosti fotovoltaické přeměny jsou ale podstatně nižší (typicky pod 10%) a náklady na instalovanou jednotku výkonu se od deskových článků prakticky neliší. Proto podíl tenkovrstvých článků na produkci během posledních let klesl pod 5%. V obr.8 jsou navíc znázorněny svíslou čarou

náklady na zbytek systému, které závisí pouze na ploše, a které vedou k dolní hranici přeměny pro praktické uplatnění. [7]

Uplatnění nachází tento typ článku v poslední době v takových aplikacích, kde je požadována pružnost a ohebnost. Existují například fotovoltaické fólie, které se při rekonstrukci nalepí na plochu střechu a plní funkci nepropustné vrstvy a současně vyrábí elektřinu. Hlavně díky zájmu armády se rozvíjí také použití fotovoltaických článků, které tvoří součást oblečení nebo batohu a umožňují tak napájet přenosná zařízení (mobilní telefon, vysílačku). [3]



Obr.9 – Použití článků II.generace, zdroj: [6]

Účinnost článků první a druhé generace je omezena fyzikálními principy. Hranice teoreticky dosažitelná technologií uvedených dvou generací fotovoltaických článků je tzv.Shockleyho-Queisserova hranice. [2]

Její číselná hodnota se uvažuje cca 30%, graficky je vyjádřena horizontální čarou na obr.8.

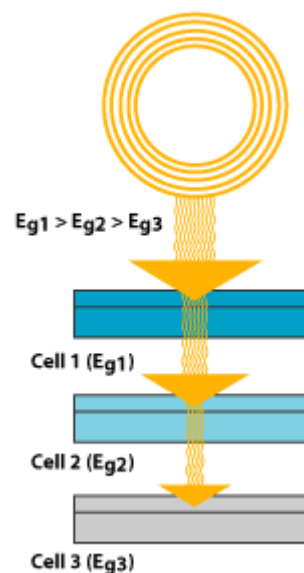
2.4.3 Články III.generace

Do třetí generace se řadí systémy, které používají k separaci nábojů jiné metody než p-n přechod a často i jiné materiály než polovodiče. Jsou to například fotoelektrochemické (fotogalvanické) články, polymerní články složené zpravidla z polymeru s konjugovanými dvojnými vazbami a molekul fullerenu(molekuly kulového tvaru tvořené uhlíkem). Začínají se také uplatňovat nanostruktury ve formě uhlíkových nanotrubiček a nanotyčinek, nebo struktury vytvořené nanosením takzvaných kvantových teček na vhodnou podložku. Výhodou těchto struktur je možnost cíleně ovlivňovat (vyladit) optické a elektrické vlastnosti. Zatím se takovéto články v praxi téměř neuplatňují (problémy s nízkou účinností a často malou

stabilitou vlastností a životností). Hodně blízko komerčnímu využití jsou asi flexibilní fotovoltaické moduly založené na organických polymerech. [3]

2.4.4 Články IV.generace

Tuto generaci tvoří kompozitní, z jednotlivých vrstev složené fotovoltaické články, schopné efektivně využívat širokou část slunečního spektra. Je to dáno tím, že každá vrstva dokáže využít světlo v určitém rozsahu vlnových délek a to záření, které využít nemůže, propustí do hlubších vrstev, kde je využito. Pokud má fotovoltaický článek jen jeden p-n přechod, pak jeho účinnost závisí jednak na tom, jakou část slunečního spektra může využít, a dále na tom, jaká část energie fotonu se přemění na elektrický proud a jaká na teplo. Pokud se ale vytvoří vícevrstvá struktura, jejíž každá část je optimalizována pro určitou část slunečního spektra, pak je možné dosáhnout podstatně lepšího využití energie dopadajícího záření. Vícevrstvá struktura sice redukuje proud, nicméně to je více než vykompenzováno zvýšením napětí článku. Podstatnou výhodou těchto struktur je lepší využití energie slunečního záření, a tedy i vyšší dosažitelná účinnost. Ve slunečním spektru jsou fotony o různých vlnových délkách; ty, jež mají energii menší, než je šíře zakázaného pásu daného polovodiče, projdou bez zachycení, u fotonů s větší energií se zase využije jen její část (zbytek se promění v teplo). Vytvořením vícevrstvé struktury, kde každá vrstva může využít jinou část solárního spektra, se dá docílit podstatně vyšší účinnosti. Teoreticky lze využít plné sluneční spektrum. [3]



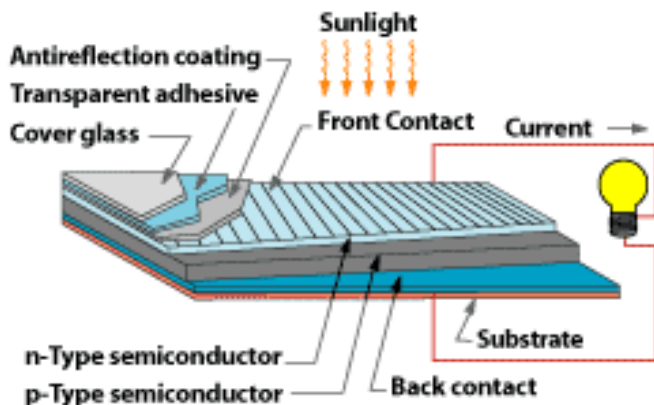
Obr.10 Princip FV článků III.generace, zdroj: [7]

Jeden z projektů, který se zabýval právě využitím několikavrstvých článků je FULLSPEKTRUM. Jednalo se o projekt finančně podporovaný Evropskou komisí, který fungoval v letech 2003-2008. Výsledkem pětiletého snažení týmu vědců bylo dosažení účinnosti 39,7% naměřené v laboratorních podmínkách. [8]

V dnešní době se rekordní naměřené hodnoty pohybují nad 40%.

3 Fotovoltaický panel

Obr.11. Konstrukce fotovoltaického panelu, zdroj: [4]



Sériovým nebo i paralelním elektrickým propojením solárních článků vzniká po jejich zapouzdření fotovoltaický panel. Panel musí zajistit hermetické zapouzdření solárních článků, musí zajišťovat dostatečnou mechanickou a klimatickou odolnost (např. vůči silnému větru, krupobití, mrazu apod.). Konstrukce solárních panelů jsou značně rozmanité podle

druhu použití. Obvykle jsou po obvodu FV panely opatřeny duralovými rámy pro zpevnění celé konstrukce fotovoltaického panelu a zároveň k usnadnění realizace uchycení panelů ke konstrukci FV systému. Přední krycí materiál je speciální kalené sklo, které odolává i silnému krupobití. Vhodné je sklo se sníženým obsahem železa, které má lepší propustnost pro světlo v červené a blízké infračervené oblasti spektra. Moderní články mají antireflexní vrstvu, která snižuje ztrátu světla odrazem a zvedne tak účinnost o několik procent. Z aplikačního hlediska jsou pro nás nejdůležitější části konstrukce nacházející se nad povrchem přední strany FV článků, tedy EVA folie (ethylen vinyl acetát) a kalené sklo (popř. teflon, litá pryskyřice). EVA folie je organickým materiálem, který může vykazovat při silném ozáření UV světlem efekt „žloutnutí“ a tedy snížení optické transparentnosti s nepříznivým vlivem na množství generovaného elektrické výkonu slunečními články. Krycí kalené sklo je z hlediska degradace optických vlastností velmi stabilním materiálem a ke snížení optické propustnosti může dojít jedině znečištěním povrchu vlivem okolního prostředí. Struktura panelů tenkovrstvých solárních článků je poněkud odlišná od konstrukce modulů z krystalických křemíkových článků. Je to dáno zejména zcela odlišnou technologií výroby, kdy celá aktivní struktura je deponována plazmaticky v jednotlivých krocích na skleněný velkoplošný substrát. [9]

Některé články jsou designovány s kladným a záporným elektrickým kontaktem na jejich zadní straně. Toto uskupení eliminuje stínění způsobené elektrickou mřížkou. Nevýhodou je, že elektrony emitované ve většině případů těsně pod povrchem musí „cestovat“ dál k zadnímu kontaktu. K tomu, aby byly elektrony schopné doputovat ke kontaktu na zadní straně fotovoltaického článku, musí být křemík vysoce kvalitní bez defektů krystalické mřížky. [10]

4 Fotovoltaické systémy

Podle účelu použití lze fotovoltaické systémy rozdělit do tří skupin. Nejvýznamnější skupinou jsou jednoznačně síťové systémy, které například v Německu tvoří více než 90 % veškerých instalací.

4.1.1 Drobné aplikace ve fotovoltaice



Obr.12. Dobíjení mobilní telefonu pomocí solárních článků, zdroj: [8]

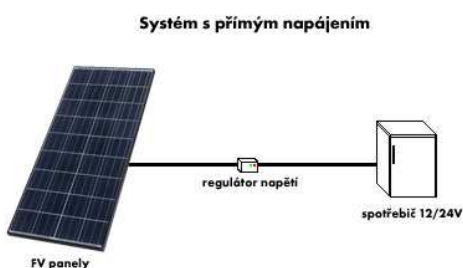
Tvoří nejmenší, avšak nezanedbatelný podíl na FV trhu. Každý jistě zná FV články v kalkulačkách nebo také solární nabíječky akumulátorů. Trh drobných aplikací nabývá na významu, protože se množí poptávka po nabíjecích zařízeních pro okamžité dobíjení akumulátorů (mobilní telefony, notebooky, fotoaparáty, MP3 přehrávače apod.) na dovolených, v kempch popř. ve volné přírodě. [11]

4.1.2 Ostrovní systémy (off-grid)

Ne vždy máme možnost využívat elektrickou energii dodávanou z distribuční sítě. Taková situace obvykle nastává na odlehlých chatách a chalupách, zahradních domkách, karavanech, přívěsech, houseboatech, jachtách, případně v odlehlých objektech síťové infrastruktury a podobně. Na těchto místech obvykle požadujeme komfort domova v podobě možnosti poslouchat rádio, sledovat televizi nebo uložit si netrvanlivé potraviny do ledničky, případně potřebujeme elektrickou energii k pohonu nějakého zařízení - čerpadla, ... Vybudování elektrické přípojky například v případě jachty nemusí být vůbec možné, nebo náklady na přípojku by byly neúnosně vysoké a neodpovídající získanému užítku. Řešením takové situace může být fotovoltaický systém odpovídajícího výkonu. Takový systém se vyplatí v případě, že by bylo nutné vybudovat elektrickou přípojku od 500 metrů a více. Při budování ostrovního systému na výrobu elektrické energie je vhodné volit odpovídající spotřebiče, které fungují na stejnosměrný proud, v současnosti je možné na stejnosměrný proud provozovat televize, rádia, ledničky i vodní čerpadla. Stejnosměrný proud je možné pomocí napěťového měniče přetransformovat na proud střídavý, nicméně měnič znamená obvykle nemalou investici, takže je zvláště u menších instalací (do 0,5kWp) výhodnější využívat spotřebiče na stejnosměrný proud. Neméně důležitá je také spotřeba energie. Čím menší je spotřeba, tím menší budou požadavky na akumulátory a výkon fotovoltaických panelů a tím bude také celá instalace levnější. Spotřebiče by tedy měly být voleny s ohledem na maximální úspornost. [12]

Ostrovní systémy off-grid můžeme rozdělit do několika skupin:

4.1.2.1 Ostrovní systémy (off-grid) s přímým napájením



Obr.13. Ostrovní systémy s přímým napájením ,zdroj: [9]

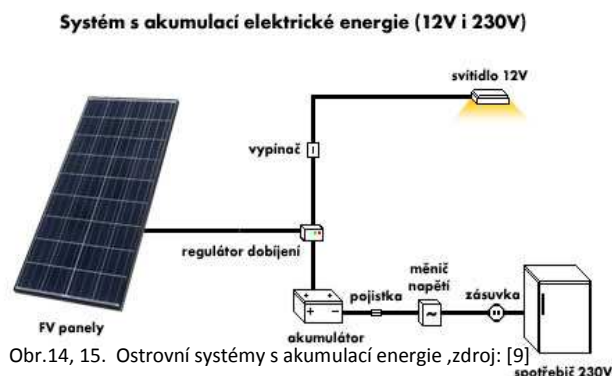
Tato varianta se používá v případech, kdy je připojené elektrické zařízení funkční jenom po dobu dostatečné intenzity slunečního záření. Jedná se pouze o propojení solárního modulu a spotřebiče přes regulátor napětí, například při čerpání vody pro závlahu, napájení oběhového čerpadla solárního systému pro přípravu teplé užitkové vody, pohon protislunečních clon nebo nabíjení akumulátorů malých přístrojů - mobilní telefon, notebook, svítlna atd. [12]

4.1.2.2 Ostrovní systémy (off-grid) s akumulací energie



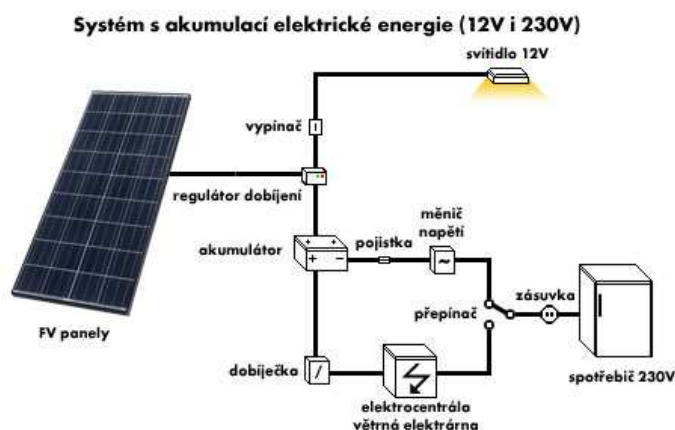
Tato varianta je použita v případech, kdy potřeba elektřiny nastává i v době bez slunečního záření. Z tohoto důvodu mají tyto ostrovní systémy speciální akumulátorové baterie konstruované pro pomalé nabíjení i vybíjení; automobilové akumulátory se zde příliš nehodí, protože jsou konstruovány pro vysoký proud za krátký časový úsek. Optimální nabíjení a vybíjení akumulátorů je zajištěno regulátorem dobíjení. K ostrovnímu systému lze

připojit spotřebiče napájené stejnosměrným proudem (napětí systému bývá zpravidla 12 nebo 24 V), případně běžné síťové spotřebiče 230 V/~50 Hz napájené přes napěťový střídač. Tyto systémy získávají uplatnění například jako zdroj elektrické energie pro chaty a další objekty, napájení dopravní signalizace, telekomunikačních zařízení nebo monitorovacích přístrojů v terénu, u zahradního osvětlení, světelné reklamy nebo při campingu a jachtingu. [12]



Obr.14, 15. Ostrovní systémy s akumulací energie ,zdroj: [9]

4.1.3 Hybridní ostrovní systémy

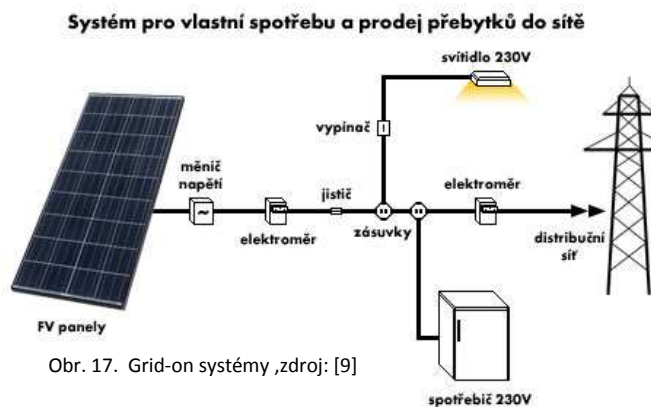


Obr. 16. Hybridní systémy ,zdroj: [9]

doplňkovým zdrojem elektřiny, který pokryje spotřebu elektrické energie v obdobích s nedostatečným slunečním svitem a při provozu zařízení s vysokým příkonem. Takovým zdrojem může být větrná elektrárna, elektrocentrála, kogenerační jednotka apod. [12]

Hybridní ostrovní systémy se používají tam, kde je nutný celoroční provoz, a kde je občas používáno zařízení s vysokým příkonem. V zimních měsících je možné získat z fotovoltaického zdroje podstatně méně elektrické energie než v letních měsících. Proto je nutné tyto systémy navrhovat na zimní provoz, což má za následek zvýšení instalovaného výkonu systému a podstatné zvýšení pořizovacích nákladů. Výhodnější alternativou je proto rozšíření systému

4.1.4 Systémy grid-on



Obr. 17. Grid-on systémy ,zdroj: [9]

Síťové systémy (on-grid) jsou nejvíce uplatňovány v oblastech s hustou sítí elektrických rozvodů. V případě dostatečného slunečního svitu jsou spotřebiče v budově napájeni vlastní „solární“ elektrickou energií a případný přebytek je dodáván do veřejné rozvodné sítě. Při nedostatku vlastní energie je elektrická energie z rozvodné sítě odebírána. Systém funguje zcela automaticky díky mikroprocesorovému řízení síťového

střídače. Připojení k síti podléhá schvalovacímu řízení u rozvodných závodů. Špičkový výkon fotovoltaických systémů připojených k rozvodné síti je v rozmezí jednotek kilowatt až megawatt. [11]

5 Zapojení fotovoltaických panelů

Solární články v panelech nebo jednotlivé solární panely mohou být propojeny v tzv.:

- sériovém zapojení - zvyšuje výstupní napětí a zachovává výstupní proud panelu jednotlivých panelů.
- paralelním zapojení - zvyšuje max. odebíraný proud a zachovává výstupní napětí jednotlivých panelů
- sériově-paralelním zapojení - kombinuje sériové i paralelní pospojování pro získání potřebného výstupního napětí a proudu

Pro konstrukci solárního systému (solární elektrárny) by se měly vzájemně propojovat jen solární panely téhož typu jednoho výrobce, který často i definuje, jaký maximální počet lze vzájemně propojit pro zachování definovaných vlastností. Protože sériové zapojení, kde se vzájemně propojují kladné a záporné póly, slouží pro zvýšení výstupního napětí elektrárny, využívá se ho zejména u systémů dodávajících elektrickou energii do rozvodné sítě, kde je nutné generovat napětí až několik set voltů. Naopak tam, kde se využívá solární elektřina jen lokálně (tzv. grid-off systémy) a je zde potřeba zálohovat energii v akumulátorech s napětím 12 nebo 24 V, se využívá paralelního zapojení. To umožňuje zvyšovat generovaný elektrický výkon při zachování nízkého výstupního napětí zvýšením hodnoty dodávaného el. proudu, protože je celkový výkon solární elektrárny, který je dán součinem napětí a proudu, na struktuře propojení nezávislý. Naopak při sériovém/paralelním spojení se mění tzv. charakteristické odpory, které jsou důležité pro konstrukci vstupu následujících prvků (měniče, regulátory), na které se soustava solárních panelů připojuje. K vzájemnému fyzickému propojení panelů do jedné velké celistvé plochy se využívá buď spojování Cu páskou pomocí neagresivního tavidla a páječky (obvykle u panelů určených pro instalaci na střechy) nebo pomocí k tomu určených typů kabelů. Někteří výrobci již panely vybavují konektory pro potřeby snadného připojení a odpojení. Z pohledu samotné výroby el. energie je nutné poznamenat, že při sériovém zapojení musí téct články či panely stejný proud. Nejsou-li sluncem ozářeny stejnoměrně, každý generuje různý elektrický proud a výstupní proud celé soustavy odpovídá nejhůře osvětlenému prvku. Proto například úplné zastínění jednoho z takto zapojených článků v panelu nebo jednoho panelu v solární elektrárně způsobí, že nepoteče žádný proud a tedy nebude dodáván žádný výkon, i když jsou ostatní články optimálně osvětleny. I z tohoto pohledu je paralelní zapojení výhodnější. [13]

6 Možnosti zvyšování účinnosti FV panelu

Vzhledem k faktu, že fotovoltaický modul je poměrně drahou záležitostí, je každé zvýšení jeho účinnosti velmi vítané. Kromě účinnějších samotných fotovoltaických článků se nabízí další možnosti:

6.1 Antireflexní vrstva

Křemík je lesklý materiál, který se částečně chová jako zrcadlo. Odráží více než 30% dopadajícího světla. Ve snaze zlepšit účinnost snižujeme hodnotu odraženého světla na co nejmenší úroveň tak, aby maximum dopadajících paprsků bylo využito pro uvolnění volných elektronů. Používají se dvě techniky ke snížení odrazivosti. První z nich je tenká vrstva SiO, která snižuje odrazivost povrchu přibližně o 10%, zatímco druhá vrstva dokáže snížit tuto hodnotu o méně než 4%. Druhou technikou používanou v dnešní praxi je úprava povrchu. Pomocí chemického leptání jsou vytvořeny pyramidy, popř. kužely, které dokáží přeměrovat dopadající světelné paprsky, díky čemuž mohou být využity opět pro uvolňování elektronů. [6]

6.2 Koncentrátory

Jedná se o zařízení, která jsou schopna sluneční záření z velké plochy soustředit na malou plochu, v našem případě plochu fotovoltaického článku (modulu). Tím dochází k výraznému zvýšení výkonu (proudu).

Obecně můžeme koncentrátory rozdělit na:

2D – soustřeďují záření do ohniskové přímky

3D – soustřeďují záření ze směru dvou prostorových os

Z hlediska optických prvků je rozdělení následující:

Zrcadlové (s rovinným, parabolickým zrcadlem)

Čočkové (spojné čočky, fresnelovy čočky)

Jiné principy (fluorescenční aj.)

Nevýhodou koncentrátorů je nutnost přesného sledování slunce. Koncentrátory mají značně omezený rozsah, z něhož jsou schopny zachytit dopadající záření. Rozsah úhlu, z nichž koncentrátor dokáže zachytit záření, se úměrně snižuje tomu, jak roste koncentrace. V případě ideálního koncentrátoru platí vztah: $\Theta = 1/C$, kde Θ_c je polovina úhlového rozsahu, z něhož je koncentrátor schopen zachytit záření a C je koncentrace (poměr intenzity záření dopadajícího na koncentrátor a intenzity záření z koncentrátoru vystupujícího). Udává se, že koncentrátory se dají využívat v místech, kde je průměrná energie dopadajícího záření větší než 1700kWh z metru čtverečního za rok a velká část záření je přímé (při jasné obloze). Z uvedeného tedy plyne, že koncentrátory v našich klimatických podmínkách nejsou příliš vhodné. Mezi další nevýhody pak řadíme optické ztráty (část záření se v koncentrátoru rozptýlí nebo pohltí), rovnoměrnost ozáření (neschopnost koncentrátorů rovnoměrně ozářit povrch fotovoltaického článku vede ke snížení účinnosti), zahřívání (vzhledem k vysoké koncentraci dopadajícího záření na fotovoltaické moduly se články zahřívají a snižuje se jejich účinnost), životnost (ve venkovním prostředí mají zrcadla omezenou životnost). [3]

6.2.1 Koncentrátory s rovinným zrcadlem

- + snadno vyrobitelné
- dosahovaná koncentrace záření je poměrně malá



Obr. 18. Koncentrátor s rovinným zrcadlem ,zdroj: [10]

6.2.2 Koncentrátory s parabolickým zrcadlem

- + vysoká koncentrace záření a tím možnost snížení potřebné plochy fotovoltaického modulu
- nutnost natáčení za sluncem a chlazení fotovoltaických článků



Obr. 19. Koncentrátor s parabolickým zrcadlem ,zdroj: [11]

6.3 Natáčení panelů za sluncem

Další, v praxi často využívanou možností, je zakomponovat do fotovoltaického systému natáčečí moduly. Jedná se o zařízení, která dokáží sledovat pohyb slunce po obloze od východu až po západ. [12]

Tyto natáčečí moduly lze rozdělit do několika základních skupin:

Jednoosé – mají pouze jednu osu rotace, bývají nejčastěji polární, tzn. osa rotace je rovnoběžná s osou rotace země

Dvouosé – mají dvě osy rotace

Oproti stacionárnímu upevnění fotovoltaického panelu poskytují natáčečí moduly značné zvýšení účinnosti. V případě jednoosých se jedná o téměř 30% zvýšení, u dvouosých ještě o 6% více. [15]

6.3.1 Rozdělení natáčecích modulů

6.3.1.1 Polární

Jak už bylo poznamenáno výše, tyto moduly mají jednu osu rovnoběžnou s osou rotace země. Jednoduché polární systémy mají možnost nastavení úhlu deklinace. To může probíhat automaticky či manuálně. V případě manuálního nastavení je nutné kalibrovat úhel minimálně dvakrát v roce, a to při podzimní a jarní rovnodennosti. Např. deklinace slunce při jarní rovnodennosti je 0° . Poté se pozice Slunce mění - stoupá přibližně o úhel $22,5^\circ$, následně se vrací zpět (podzimní rovnodennost opět 0°) a v průběhu zimy se odklání o stejnou hodnotu jako v létě. Ideální nastavení pro léto je tedy přibližně 15° až 20° . [15]

6.3.1.2 Natáčecí moduly s horizontální osou

Osu tohoto modulu tvoří dlouhá tyč uložena v ložiskách při orientaci osy sever-jih. Mezi hlavní výhody tohoto uspořádání patří jednoduchost mechanismu, dobrá využitelnost prostoru bez možnosti vzájemného stínění a dostupnost pro čištění panelů. Naproti tomu toto uspořádání dosahuje poměrně nízké účinnosti v zimním období. [15]



Obr. 20. Natáčecí moduly s horizontální osou, zdroj: [12]

6.3.1.3 Natáčecí moduly s vertikální osou

Tyto moduly mohou být konstruovány jako otočné kolem vertikální osy. Toto uspořádání je vhodné především pro větší nadmořské výšky. [2]

Pohyb modulů za sluncem zajišťují nejčastěji elektromotory, které přes převodovku otáčejí na ose upevněné fotovoltaické panely na jednu nebo druhou stranu podle polarity proudu. Využívá se „rovnováhy“ dvou fotocitlivých senzorů popř. malých fotovoltaických modulů. Jestliže je jeden z modulů osvětlován více, rovnováha se poruší a motor otáčí celým systémem dokud nejsou oba moduly opět stejně osvětlovány. Pro velké systémy (především u dvouosých) se používá zpravidla automatické natáčení fotovoltaických panelů, kdy je pohyb řízen počítačem, který má polohu slunce v jednotlivých časech uloženou popř. ji pro dané časové okamžiky počítá. [3]

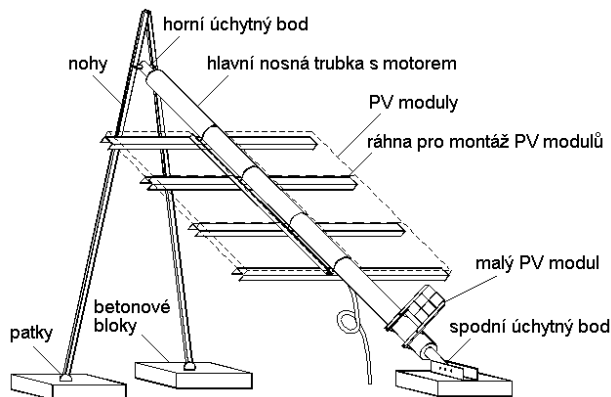
Pro názorný příklad uvádím konstrukci TRAXLE, která se využívá především pro malé systémy.

Technické řešení sledovače TRAXLE je unikátní a byly na něj vydány dva celosvětově platné patenty. Hlavní nosnou částí TRAXLE je trubka z hliníku nebo nerezů postavená šikmo v ose sever/jih.



Obr. 21. Traxle, zdroj: [13]

Na této trubce jsou uchycena ráhna a na nich fotovoltaické panely. V trubce je zabudován motor, který přes šroubovou převodovku otáčí celou konstrukcí. 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. [16]



Obr. 22. Konstrukce TRAXLE, zdroj: [14]

7 Průzkum trhu z hlediska účinnosti FV panelů

Trh fotovoltaických panelů se rozrůstá obrovskou rychlostí. Pojmout všechny výrobce, typy a jejich účinnosti je tedy takřka nemožné. V následujících tabulkách jsou proto uvedeny nejznámější a největší zástupci na českém poli prodeje fotovoltaických panelů. Vzhledem k tomu, že rozměry panelů nejsou nijak standardizované, je rozdělení provedeno podle dosahovaných výkonů.

Některé monokrystalické solární panely o výkonu od 120W dostupné v ČR

Typ	Sunset AS 120	SM-215M	SPV 180-SME-1	AC-187M/125-725	HIP-230HDE1
Výrobce	SUNSET GmbH	Sunways AG	Schüco International KG	AXITEC MiG	SANYO Europe GmbH
Země výroby	Německo	Německo	Německo	Německo	Japonsko / Německo
Max. výkon	120 Wp	215 Wp	180 Wp	187 Wp	230 Wp
Plocha	1476 x 660	1680 x 990	1.580 x 808	1600 x 799	1610 x 601 mm
Tloušťka	35 mm	50 mm	46 mm	38 mm	35 mm
Hmotnost	11,9 kg	20 kg	15,7 kg	17,5 kg	16,5 kg
Počet článků	72 ks	60 ks	-	72 ks	-
Vel. článků	125 x 125	156 x 156 mm	-	125 x 125 mm	-
Materiál	Monokrystal. křemík	Monokrystal. křemík	Monokrystal. křemík	Monokrystal. křemík	Monokrystal. křemík
Účinnost	-	-	Cca 16,8 %	14,64%	17 až 19 %
Nap. naprázdno	21 V	36,5 V	44,4 V	44,85 V	42,3 V
Proud nakrátko	7,7 A	8,1 A	5,35 A	5,45 A	7,22 A
Optimal napětí / proud	16,9 V / 7,1 A	28,6 V / 7,6 A	35,4 V / 5,08 A	36,85 V / 5,08 A	34,3 V / 6,71 A
Cena Kč/ks bez DPH	Cca 21 tis.	-	-	-	-
Některí prodejci v ČR	www.e-conrad.cz	www.sunrays.cz www.wattsun.cz	www.schueco.cz	www.artsolar.cz www.pbsolar.cz	www.czechsolar.cz fotovoltaikshop.cz

Typ	SG 72 - 180 / 24	NT-R5E3E	SOLARWATT M230-96	Phono Solar PS 175M-24/F	SPR-315-WHT
Výrobce	Solartec	Sharp	SOLARWATT AG	EFEKTIM a.s.	SunPower
Země výroby	ČR	Japonsko / Velká Brit.	Německo	ČR	Německo
Max. výkon	180 Wp	175 Wp	240 Wp	175 Wp	315 Wp
Plocha	1 643 x 854	1575 x 826	1680 x 1060 x	1580 x 808	1535 x 1002
Tloušťka	35 mm	46 mm	50 mm	35 mm	46 mm
Hmotnost	16 kg	17 kg	24 kg	15 kg	18,6 kg
Počet článků	72 ks	72 ks	96 ks	6x12 ks	96 ks
Vel. článků	125 x 125 mm	125 x 125 mm	125 x 125 mm	125 x 125 mm	-
Materiál	Monokrystal. křemík	Mnokrystal křemík	Monokrystal. křemík	Monokrystal. křemík	Monokrystal.křemík
Účinnost	-	16,40%	Cca 17%	-	19,30%
Nap. naprázdno	44,40 V	44,4 V	59,8 V	44,4 V	64,6 V
Proud nakrátko	5,25 A	5,40 A	5,45 A	5,20 A	6,14 A
Optimal napětí / proud	36 V / 5A	35,4 V / 4,95 A	46,8 V 5,13 A	35,8 / 4,89 A	54,7/5,76
Cena Kč/ks bez DPH	Cca 18 tis.	Cca 12 tis.	Cca 21tis.	Cca 10tis.	Cca 24tis.
Některí prodejci v ČR	www.solartec.cz www.solarpanel.cz	www.nobility.cz www.cz-elektronika.cz www.hitechsolar.cz	www.hitechsolar.cz www.nemakej.cz	www.phonosolar.cz www.acsolar.cz solarni-panely.cz	www.panely-sunpower.cz

Některé polykrytalické / mikrokrystalické solární panely s výkonem nad 160 W dostupné v ČR

Typ	PV-TD185MF5	RS-P190	ND162E1	ALEO S_16 185 Wp	Premium 225W	SW 210 Poly
Výrobce	Mitsubishi Electric	Rich Solar	Sharp	Aleo Solar GmbH	REC Solar	Solarworld AG
Země původu	Japonsko	Čína	Japonsko / Velká Brit.	Německo	Norsko	Německo
Max. výkon	185 Wp	190 Wp	162 Wp	185 Wp	225 Wp	210 Wp
Plocha	1658 x 834	1324x992mm	1318 x 994	1660 x 830	1665x991	1600x1001
Tloušťka	46 mm	50 mm	46 mm	50 mm	43 mm	34 mm
Hmotnost	17 kg	15,6kg	16 kg	17 kg	22 kg	22kg
Počet článků	50 ks	48 ks	48 ks	50 ks	60 ks	60 ks
Rozměr článků	156 x 156	156 x 156	155,5x155,5	156 x 156 mm	156 x 156	156 x 156
Materiál	Polykrystal.křemík	Polykrystal. křemík	Polykrystal. křemík	Polykrystal. křemík	Multikrystal. křemík	Polykrystal. křemík
Účinnost	Cca 13,5%	-	12,40%	12%	13,60%	-
Nap. naprázdno	30,6 V	29,20V	28,4 V	30,4 V	36,8	36,4
Proud nakrátko	8,13 A	8,41A	7,92A	8,2 A	8,2	7,8
Optimal. napětí / proud	24,4 V / 7,58 A	23,5V / 8,08A	22,8 V / 7,11 A	24 V / 7,7 A	29,1 V / 7,7 A	29,2 / 7,2
Cena Kč/ks						
bez DPH	cca 13tis.	cca 19tis.	cca 15 tis.	Cca 17 tis.	Cca 15 tis.	Cca 25 tis.
Někteří prodejci v ČR	M-TECH SOLAR, s.r.o. www.mtechsolar.cz	ASPA, a.s.	www.nobility.cz www.hitechsolar.cz	www.sollaris.cz www.nemakej.cz	www.soleg.cz www.aasolarnipanely.cz	www.soleg.cz www.solwin.cz

Typ	SG-215-6Z	STP200-18/Ud	ES-195-RL-TU	KD 210 GH-2PU	SHOTT POLY 170 Wp
Výrobce	Solartec	Suntech Power	EverGreen Solar Inc.	Kyocera Solar	Schott Solar CR
Země původu	ČR	Čína	USA	Japonsko / Německo	Německo / ČR
Max. výkon	250 Wp	200 Wp	195 Wp	210 Wp	170 Wp
Plocha	1 682 x 1 041	1482 x 992	1570 x 953	1500 x 990	1620 x 810
Tloušťka	35 mm	35 mm	40,6 mm	46 mm	50 mm
Hmotnost	21 kg	17 kg	18 kg	18 kg	15,5 kg
Počet článků	60 ks	54 ks (6x9)	108 ks	54 ks	72 ks
Rozměr článků	156x156 mm	156 x 156	-	156 x 156	125 x 125
Materiál	Multikrystal. křemík	Polykrystal. křemík	Polykrystal. křemík	Polykrystal. křemík	Polykrystal. křemík
Účinnost	15 - 16%	-	-	Cca 16%	13 - 14%
Nap. naprázdno	36,50 V	33,4 V	32,8 V	33,2 V	44 V
Proud nakrátko	8,00 A	8,12 A	8,05 A	6,98 A	5,3 A
Optimal. napětí / proud	28,9 V/7,44 A	26,2 / 7,63 A	26,7 / 7,12 A	26,6 / 7,9 A	35,5 V 4,78 A
Cena Kč/ks					
bez DPH	cca 18tis.	cca 17 tis.	cca 18 tis.	cca 21 tis.	cca 18 tis.
Někteří prodejci v ČR	www.solartec.cz	www.gbc-montaze.cz solarni-panely.cz	solarni-panely.cz www.soleg.cz	www.mtechsolar.cz www.alter-eko.cz	www.gbc-montaze.cz www.nemakej.cz

Některé hybridní (mikrokrystalická + amorfní) a amorfní solární panely dostupné v ČR

Typ	SolarRoll 14	TPS 113-36W	Evalon V -Solar 408	Evalon V -Solar 136	UNI-SOLAR PVL 68
Výrobce	Brunton				
www.brunton.com	Shenzhen Topray Solar	Alwitra GmbH	Alwitra GmbH	UNI-SOLAR	
Země původu	USA	Čína	Německo	Německo	USA
Max. výkon	14 Wp	36 Wp	408 Wp	136 Wp	68 Wp
Plocha	305x 1450	643x1253	1185x5490	790x2580	2849x 394
Tloušťka	cca 5 mm	37mm	4,6 mm	4,6 mm	4,0 mm
Hmotnost	482 g	14,7kg	25,8 kg	14,1 kg	3,9 kg
Materiál	Amorfní křemík (a-Si)	Amorfní křemík (a-Si)	Amorfní křemík (a-Si)	Amorfní křemík (a-Si)	Amorfní křemík (a-Si)
Účinnost	cca 8%	cca 8%	8,20%	8,20%	6-8 %
Nap. naprázdno	-	59V	138,6 V	47,6 V	23,1 V
Proud nakrátko	-	1A	4,8 A	4,8 A	5,1 A
Optimal napětí / proud	15,4 V / 900 mA)	46V /0,87A	99 V / 4,13 A	33 V / 4,13 A	4,1 A
Cena Kč/ks	cca 400 \$US	Cca 3 tis.	Cca 43 tis.	Cca 17 tis.	Cca 10 tis.
Někteří prodejci v ČR	-	www.topraysolar.cz	FDT (CZ) s.r.o.	FDT (CZ) s.r.o.	TEGOLA Bohemia

Typ	GS-40D39D	HB 110	NA-F110	G-EA060	ASI-F 32/12
Výrobce	GS-Solar				
www.gis-solar.de	Kaneka	Sharp	Kaneka	Schott Solar	
Země původu	Čína	Japonsko	Japonsko	Japonsko	Německo/ČR
Max. výkon	40 Wp	110 Wp	110 Wp	60 Wp	32 Wp
Plocha	1245 x 635	1210 x 1008	1409x1009	990 x 960	1005 x 605
Tloušťka	7,5 mm	40 mm	46 mm	40 mm	34 mm
Hmotnost	14,4 kg	18 kg	19 kg	13,7 kg	6,2 kg
Materiál	Amorfní křemík (a-Si)	Hybridní technologie	Hybridní technologie	Amorfní křemík (a-Si)	Amorfní křemík (a-Si)
Účinnost	-	9%	8,00%	9%	cca 8%
Nap. naprázdno	62 V	71 V	233 V	92 V	22,8 V
Proud nakrátko	1,11 A	2,5 A	0.800	1,19 A	2,5 A
Optimal napětí / proud	46 V / 0,87 A	54 V 2,04 A	172 V		
0.640	67 V 0,90 A	16.8 V / 1,92 A			
Cena Kč/ks	Cca 2 tis.	Cca 9 tis.	-	Cca 3 tis.	Cca 7tis.
Někteří prodejci v ČR	www.cesolar.cz	www.gbc-montaze.cz www.nemakej.cz	www.cate-sro.cz	www.nemakej.cz www.gbc-montaze.cz	www.omnitron.cz www.gbc-montaze.cz

Tab.1 Průzkum trhu s fotovoltaickými panely v ČR ,zdroj: [21]

8 Legislativa fotovoltaických systémů v ČR

8.1 Současné podmínky pro provozování FV elektrárny v ČR

Pro připojení fotovoltaického systému do distribuční sítě je nutné mít uzavřenou smlouvu s provozovatelem distribuční sítě (ČEZ, E-on). Tento má povinnost na základě zákona o obnovitelných zdrojích (OZE) vykoupit veškerou Vámi vyprodukovanou elektřinu. Smlouva se uzavírá na dobu 20 let, tzn., že energetická společnost elektrickou energii vyrobenou FV systémem bude vykupovat po dobu 20-ti let. Energetický regulační úřad (ERU) vydává každoročně cenová rozhodnutí, ve kterých upravuje výkupní cenu elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Pro rok 2010 platí cenové rozhodnutí č. 5/2009, které stanovuje dva možnosti výkupu [17]:

a) Přímý prodej do sítě - veškerá vyprodukovaná elektrická energie je dodávána do rozvodné sítě – výkupní cena činí 12,25 Kč/kWh u elektráren do 30 kWp a 12,15 Kč/kWh u elektráren nad 30 kWp. Elektrickou energii pro vlastní spotřebu (pračka, svícení apod.) uživatel nakupuje zpět od energetické společnosti v rámci zvoleného tarifu (např. noční proud) [17]

b) Zelený bonus - energii vyprodukovanou FV elektrárnou uživatel spotřebovává pro vlastní použití, v tomto případě platí tzv. zelený bonus – výkupní cena činí 11,28 Kč/kWh u elektráren do 30 kWp a 11,18 Kč/kWh u elektráren nad 30 kWp. Případné přebytky elektrické energie jsou automaticky dodávány do rozvodné sítě za cenu rozdílu výkupní ceny a Zeleného bonusu, tj. v tomto případě 0,97 Kč/kWh. Zelený bonus je tedy jakousi odměnou pro uživatele, že nespotebovává elektrickou energii dodávanou energetickou společností, ale spotřebovává energii vlastní. [17]

Tím, že uživatel vyrábí vlastní elektrickou energii a prodává ji některému z provozovatelů distribuční sítě, se stává v jistém smyslu „podnikatelem“. ERU mu přiděluje identifikační číslo (IČ) a příjem z prodeje elektřiny je předmětem zdanění. Prvních 5+1 let provozování FV systému je však uživatel osvobozen od daně z příjmu, poté příjmy podléhají zdanění dle aktuálního znění zákona č.586/1992 Sb. o daních z příjmů. [17]

8.2 Výkupní ceny a legislativní změny pro rok 2011

Možnost snížení výkupních cen o více než 5 % ročně se týká v současnosti výhradně fotovoltaiky. Ministerstvo průmyslu a obchodu oznámilo záměr snížit výkupní ceny již pro rok 2010 tiskovou zprávou ze dne 24. 8. 2009. V dané situaci – těsně před parlamentními volbami – bylo zřejmé, že ke změně v roce 2009 dojít nemůže. Přestože se situace změnila, vláda z obav před možnými arbitrážemi odsunula termín změny na 1. 1. 2011. Ministerstvo průmyslu a obchodu připravilo ve spolupráci s Energetickým regulačním úřadem vládní návrh na tzv. "malou" novelu zákona č. 180/2005 Sb. Poslanci na návrh poslance Vojíře připravili alternativní návrh. O obou návrzích jednal 13. 1. 2010 hospodářský výbor a 14. 1. 2010 výbor pro životní prostředí poslanecké sněmovny Parlamentu České republiky. Hospodářský výbor podpořil poslanecký návrh, zatímco Výbor pro životní prostředí podpořil původní vládní návrh. [18]

Současná podoba

Výkupní ceny stanovené Úřadem pro následující kalendářní rok nesmí být nižší než 95 % hodnoty výkupních cen platných v roce, v němž se o novém stanovení rozhoduje. Toto ustanovení se poprvé použije pro ceny stanovené pro rok 2007. [18]

Vládní návrh

Výkupní ceny stanovené Úřadem pro následující kalendářní rok nesmí být nižší než 95 % hodnoty výkupních cen platných v roce, v němž se o novém stanovení rozhoduje. Ustanovení věty první se nepoužije pro stanovení výkupních cen pro následující kalendářní rok pro ty druhy obnovitelných zdrojů, u kterých je v roce, v němž se o novém stanovení výkupních cen rozhoduje, dosaženo návratnosti investic kratší než 11 let; Úřad při stanovení výkupních cen postupuje podle odstavců 1 až 3. Toto ustanovení se poprvé použije pro ceny stanovené pro rok 2011. [18]

Poslanecký návrh

Výkupní ceny stanovené Úřadem pro následující kalendářní rok nesmí být nižší než 75 % hodnoty výkupních cen platných v roce, v němž se o novém stanovení rozhoduje. Toto ustanovení se poprvé použije pro ceny stanovené pro rok 2011. [18]

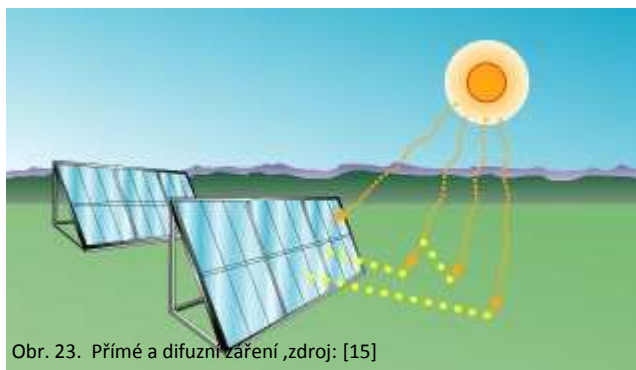
Zhodnocení

Vládní návrh se snaží o minimální zásah do stávajícího zákona. Zřejmě se očekává, že pro následující léta již bude přijata tzv. "velká" novela. Vadou vládního návrhu je zejména skutečnost, že chybí shoda v názoru, které položky mají být zahrnuty do výpočtu návratnosti. Investorům vadí, že návrh žádným způsobem neomezuje maximální pokles výkupní ceny. Panuje proto obava, že po snížení výkupní ceny se rozvoj fotovoltaiky vrátí na úroveň roku 2007. Pokud by však pokračoval pokles investičních nákladů fotovoltaických elektráren větší rychlostí než 5 % ročně, může po několika letech opět dojít k prudkému růstu instalací. Výhodou vládního návrhu je, že pro všechny ostatní obnovitelné zdroje budou zachovány stabilní podmínky. Poslanecký návrh sice definuje maximální pokles pro rok 2011, jeho případné přijetí by však ohrozilo investice do všech ostatních obnovitelných zdrojů. Samotná fotovoltaika by byla ochráněna jen pro rok 2011. Obecně lze považovat za vhodnější původní vládní návrh. Zdánlivě ideální varianta - kombinace obou návrhů, která by omezovala maximální pokles například na 25 % - by v případě většího propadu cen některého zdroje jen prodloužila nekontrolovaný boom. Regulaci rozvoje fotovoltaiky však v podmínkách České republiky může zajistit jedině pevně stanovený strop, jako je tomu ve Španělsku nebo na Slovensku. Zkušenosti z loňského roku ukazují, že ani pružný systém zvolený v Německu nedokáže boomu zabránit. Systém zvolený v České republice, který čerpal inspiraci z Německa a ve své době byl považován za jeden z nejlepších v Evropě, je vhodný pouze v období stabilních cen, pokud pokles investičních nákladů je nižší než omezení nastavené v zákoně. [18]

9 Typy záření a jejich měření

Vzhledem k faktu, že produkovaný výkon fotovoltaického článku je přímo úměrný toku záření dopadající na jeho povrch, je výběr vhodné lokality jedním z hlavních pilířů při stavbě fotovoltaické elektrárny. Údaje o celkovém záření uvádí meteorologické stanice. V této hodnotě jsou však zastoupeny obě složky záření – přímá a difuzní.

Jak již bylo poznamenáno výše, zemská atmosféra a oblačnost absorbuje, odráží a rozptyluje část vstupujícího záření. Nicméně enormní část slunečního záření dosáhne zemského povrchu, díky čemuž ji dokážeme využít. Uvedené záření je přímé nebo nepřímé tzn. difuzní. Rozdíl mezi těmito dvěma druhy je důležitý, protože některé fotovoltaické



Obr. 23. Přímé a difuzní záření, zdroj: [15]

systemy (ploché panely) dokáží využít obě složky záření, zatímco koncentrátory využívají pouze přímé světlo. Přímé světlo je záření přicházející přímo ze Slunce bez odrazu. Difuzní složka záření vzniká odrazem od mraků, prachu, země, nebo jiných objektů. Difuzní světlo tedy urazí delší dráhu než dosáhne povrchu fotovoltaického článku. Tuto složku nelze žádnou optikou fokusovat na potřebné místo. [6]

9.1 Specifikace přímého záření

Směr dopadu slunečních paprsků je dán vzájemnou polohou slunce nad obzorem (vzhledem k zemi) a oslněné plochy. Zatímco u oslněné plochy jde zpravidla o stálou polohu určenou orientací plochy ke světovým stranám a úhlem sklonu od vodorovné roviny (pro stacionární systémy), mění se poloha slunce nad obzorem v závislosti s časem. V každém okamžiku pak je poloha slunce dána jeho výškou nad obzorem h a jeho azimutem a . Pro tyto dva parametry platí vztahy:

$$\sinh = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \tau \quad \text{a} \quad \sin a = \frac{\cos \delta}{\cosh} \sin \tau$$

kde:

τ ... čas (časový úhel) měřený v obloukových stupních, měřený od dvanácté hodiny v poledne (jedné hodině odpovídá úhel 15°)

δ ... je sluneční deklinace, tj. zeměpisná šířka, kde v daný den ve dvanáct hodin v poledne je slunce kolmo nad obzorem

φ ... zeměpisná šířka

Přičemž pro druhý vztah platí, že azimut slunce α se zde měří od směru jihu (J) ve smyslu otáčení hodinových ručiček jako kladná hodnota (+) a ve smyslu proti otáčení hodinových ručiček jako záporná hodnota (-). Vyplyvá to ze způsobu měření časového úhlu τ ; pro hodiny po 12.hodině v poledne se měří jako kladná hodnota (+) a pro hodiny před 12.hodinou v poledne jako záporná hodnota. Sluneční deklinace se během roku mění (pro každý den má jinou hodnotu). Pro běžné výpočty většinou stačí jediná hodnota δ pro celý měsíc. Počítá se s deklinací pro tzv.charakteristický den v měsíci (s výhodou se volí 21.den v měsíci), pro nějž se pak počítají všechny parametry určující polohu slunce nad obzorem a také intenzita záření. Intenzita slunečního záření vypočítaná pro charakteristický den v měsíci se pak považuje za průměrnou (střední) hodnotu pro celý příslušný měsíc. Tento postup je zcela vyhovující při výpočtech, pro než jsou k dispozici i ostatní klimatické faktory (např.skutečná doba slunečního svitu) jen jako průměrné měsíční hodnoty. Sluneční deklinace δ pro charakteristický den v jednotlivých měsících je uvedena v příložené tabulce. [1]

Tab.2 Přímé a difuzní záření ,zdroj: [16]

Den	Sluneční deklinace
22.12.	-23°27'
22.11. a 21.1	-20°
23.10. a 20.2.	-11°30'
23.9. a 21.3.	0°
23.8. a 21.4.	11°30'
23.7. a 22.5.	20°
22.6.	23°27'

9.2 Měření dopadajícího slunečního záření

K měření dopadajícího slunečního záření slouží tzv.pyranometr. Měření je založeno na tom, že se porovnává teplota černého a bílého povrchu pod skleněným krytem a rozdíl teplot měřený souborem termočlánků je úměrný intenzitě dopadajícího záření. V případě nutnosti rozlišit a změřit záření přímé, je pak



Obr. 25. Pyrhelionometr, zdroj: 18

zapotřebí přístroje,

který zachycuje záření jen z bezprostředního okolí slunečního kotouče. K tomuto účelu se používá přístroj nazývaný pyrhelionometr, jehož princip je v podstatě stejný jako u pyranometru jen s tím rozdílem, že čidlo je umístěno v trubici, která vymezení rozsah úhlů, z nichž může dopadat sluneční záření. [3]

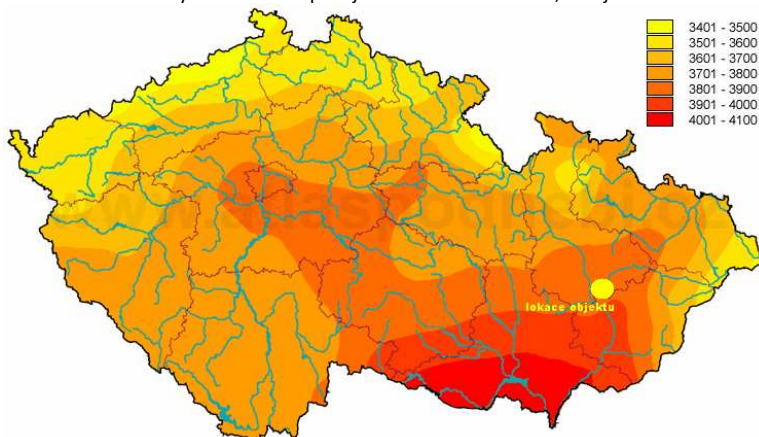
Obr. 24. Pyranometr, zdroj: 17



10 Návrh FV systému

10.1 Průměrný úhrn dopadajícího slunečního záření

Obr. 21. Průměrný roční úhrn dopadajícího slunečního záření, zdroj: 19



Uvažovaný objekt, pro který bude navržen fotovoltaický systém se nachází v Olomouckém kraji ve městě Přerov. Pro zhodnocení vhodnosti vycházím z údajů ČHMÚ zaznamenané za posledních deset let. Vzhledem k tomu, že statistický soubor je poměrně velký, dovoluji si tvrdit, že statisticky zpracované údaje jsou dostatečně vypovídající.

Délka slunečního svitu v roce 2009 [h]

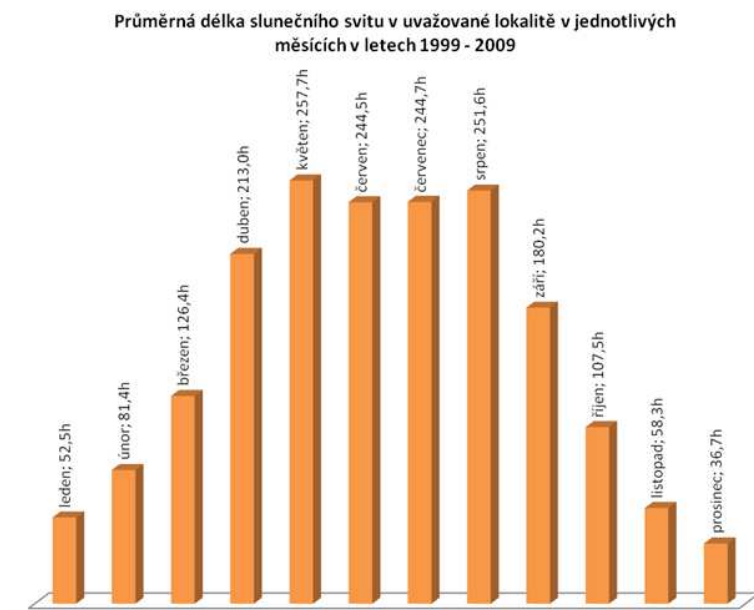
měsíc	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	suma
Brno, Tuřany	38,0	28,6	82,3	300,5	229,4	178,3	272,7	267,8	189,0	81,7	56,7	31,8	1756,8
Č.Budějovice	56,0	26,5	61,1	261,0	206,1	163,9	217,1	234,8	159,0	74,0	92,2	38,3	1590,0
Doksany	39,7	35,2	65,3	277,8	213,9	165,3	200,7	279,0	180,9	67,4	58,3	35,2	1618,7
Holešov	40,7	24,8	57,2	301,6	234,2	164,2	257,0	260,3	189,6	68,4	59,8	28,7	1686,5
Hradec Králové	42,0	33,6	68,5	295,6	225,2	182,0	226,0	281,2	194,6	43,7	80,1	36,5	1709,0
Cheb	69,0	55,5	78,8	252,8	209,1	180,5	204,3	273,6	182,3	75,8	48,3	27,5	1657,5
Churáňov	102,3	54,0	86,0	266,3	190,9	165,1	214,2	250,4	167,7	93,7	98,0	54,6	1743,2
Klatovy	60,1	32,1	58,2	243,2	195,3	162,0	210,7	254,4	175,2	62,4	69,9	26,9	1550,4
Kobylí	44,4	36,1	75,7	271,9	212,3	173,4	272,9	245,8	191,8	91,3	58,3	40,9	1714,8
Kuchařovice	50,8	34,3	86,0	291,3	225,9	160,3	267,5	271,8	206,1	93,5	53,8	45,4	1786,7
Liberec	54,7	11,8	59,8	282,4	203,0	138,5	187,5	268,1	166,1	42,4	48,0	27,7	1490,0
Lysá hora	75,1	20,0	18,9	295,7	180,9	104,6	220,5	218,3	160,4	44,0	75,4	30,5	1444,3
Milešovka	82,9	42,8	63,2	280,4	213,2	163,4	216,5	299,3	195,0	59,9	58,5	49,1	1724,2
Mošnov	52,4	26,3	51,6	278,1	219,8	126,8	264,5	264,4	182,7	65,4	74,4	28,3	1634,7
Olomouc	38,3	34,8	62,8	289,0	222,8	159,9	269,6	278,3	198,2	63,2	60,3	21,9	1699,1
Praha, Karlův	42,4	32,4	67,5	268,0	199,4	153,1	213,4	254,3	181,8	62,5	75,5	43,0	1593,3
Praha, Ruzyně	36,7	40,9	70,4	273,8	199,4	165,6	215,5	266,3	188,6	68,1	78,4	45,1	1648,8
Příbryslav	34,4	21,0	59,1	293,0	218,9	165,9	242,9	270,6	188,6	65,0	70,3	37,6	1667,3
Semčice	39,9	27,2	75,2	288,3	220,1	171,5	209,2	276,9	184,3	50,6	73,3	37,2	1653,7
Svratouch	49,0	14,3	47,2	281,5	198,8	141,8	221,6	256,0	180,7	54,1	75,9	33,4	1554,3
Tábor	38,7	35,3	61,5	254,5	199,6	176,7	222,5	254,9	166,6	68,0	77,5	36,1	1591,9
Velké Meziříčí	28,3	25,8	82,5	283,9	229,3	171,5	261,5	256,8	187,5	68,3	54,9	29,6	1679,9

Délka slunečního svitu naměřená v Olomouci [h]

rok/měsíc	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	suma
2009	38,3	34,8	62,8	289,0	222,8	159,9	269,6	278,3	198,2	63,2	60,3	21,9	1699,1
2008	41,1	96,2	136,0	172,3	219,0	245,4	223,8	240,4	146,2	89,3	49,9	57,6	1717,2
2007	58,3	53,1	146,1	301,3	254,2	231,3	251,7	244,6	162,7	99,6	50,9	18,6	1872,4
2006	81,6	75,8	99,8	195,5	218,9	253,1	364,8	155,2	250,4	192,6	53,2	26,4	1967,3
2005	69,5	70,8	181,1	207,8	266,1	251,3	206,5	200,2	199,7	173,0	69,9	32,7	1928,6
2004	66,6	74,0	96,6	202,1	217,0	206,4	242,7	243,5	199,4	120,3	68,0	26,1	1762,7
2003	41,8	129,2	186,4	216,8	295,3	334,2	238,2	329,2	209,2	104,4	49,8	75,6	2210,1
2002	55,8	91,0	182,5	184,3	268,1	270,6	291,6	225,4	167,8	80,9	40,2	31,5	1889,7
2001	42,1	107,2	62,3	167,7	317,6	200,9	225,4	289,3	80,4	94,9	67,9	49,1	1704,8
2000	39,6	70,3	96,3	242,3	298,9	327,3	158,2	290,2	254,9	104,1	73,9	34,9	1990,9
1999	43,1	93,2	140,9	163,7	256,6	208,7	219,4	271,1	113,8	60,0	56,9	28,9	1656,3

měsíční průměr	52,5	81,4	126,4	213,0	257,7	244,5	244,7	251,6	180,2	107,5	58,3	36,7	1854,5
----------------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	--------

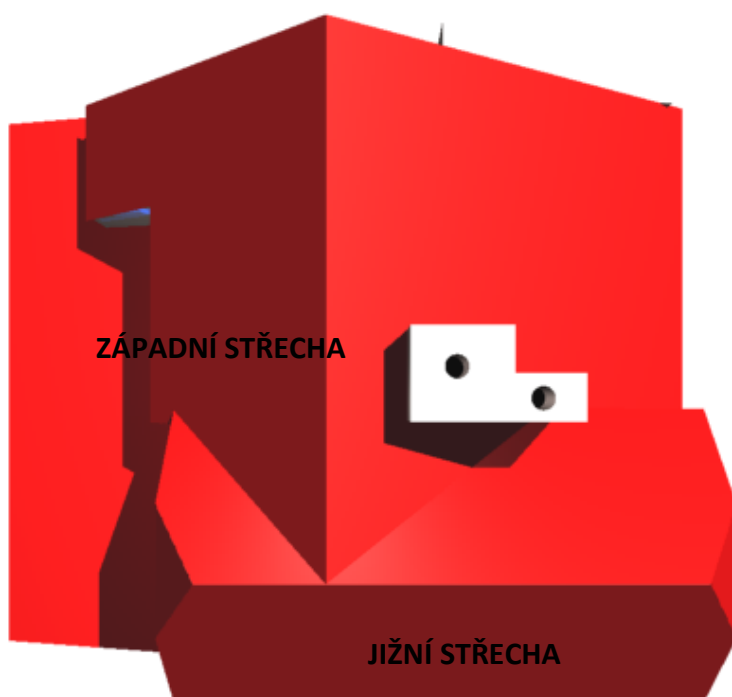
Tab.5



Z uvedených zpracovaných statistik vyplývá, že v měsících květen – srpen lze očekávat největší získaný výkon fotovoltaických panelů.

10.2 Reálný model řešené situace

Pro názornost byl uvažovaný objekt vymodelován podle stavebních výkresů v měřítku. Dále proběhlo měření pomocí zařízení Techtrail, díky kterému byla zjištěna odchylka směru jedné z uvažovaných částí střechy od ideálního jihu přibližně 2° směrem na západ. V dalším textu bude tato část označována jako „jižní střecha“. Druhá uvažovaná střecha (dále jen „západní střecha“) je orientována na západ. Objekt stojí samostatně, možnost stínění je vyloučena.



Zatímco je jižní střecha skloněna pod úhlem 40° od vodorovné roviny, hodnota sklonu západní střechy je pouhých 17° .

Pro oblačnost vyskytující se více v dopoledních hodinách a především pro polohu ČR byl stanoven ideální sklon panelů 35° dle [20]

10.3 Jižní střecha

10.3.1 Rozmístění fotovoltaických panelů na jižní střeše

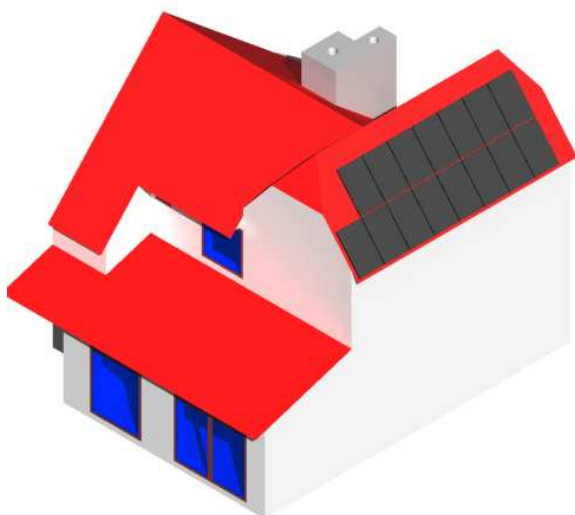
Je tedy zřejmé, že v případě jižní střechy bude muset nosná konstrukce fotovoltaických panelů zajistit rozdíl mezi skutečným a teoreticky optimálním úhlem tak, aby se úhel sklonu instalovaných panelů přiblížil co nejvíce ideální hodnotě. Pro výpočet bude dosazena hodnota sklonu střechy 35° . Pro jižní střechu budou použity panely z monokrystalického křemíku. Volím tak především pro léty vyzkoušenou technologii výroby monokrystalických fotovoltaických článků. Produkty této technologie se vyskytují na trhu již značnou dobu, jejich dlouholetá stabilita je ověřena. Po důkladném prostudování nabízeného sortimentu volím solární panely SPR-315-WHT (vyznačené v tab.1) založené na fotovoltaických článcích SunPower, jejichž předchůdci získali několik ocenění (viz [26], [27]), a u nichž je stabilita výborných vlastností potvrzena mnoha studiemi a pokusy. Výrobce zaručuje 25 let výkonu nad 90% a 10 let poskytuje záruku na materiál.

Nabízí se dvě možnosti uložení na šikmé jižní střeše, a to s horizontální a vertikální orientací fotovoltaických panelů. Obě varianty jsou znázorněny na obr.24, 25. Z výpočtu viz níže plyne, že výhodnější uspořádání je s panely orientovány vertikálně, kdy využitelnost plochy střechy je přibližně o 4% větší. Uváděné hodnoty ploch jsou v metrech čtverečních.

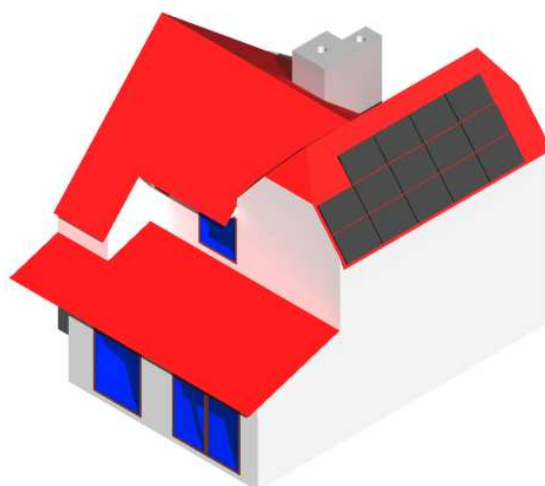
Plocha střechy	Plocha jednoho panelu	Počet panelů pro hor.rozložení	Počet panelů pro ver.rozložení
33,99	1,54	14	15

Využitelnost pro horizontální orientaci panelů	63,35%
Využitelnost pro vertikální orientaci panelů	67,88%

Tab.6



obr.24 Vertikální rozložení panelů na jižní střeše



obr.25 Horizontální rozložení panelů na jižní střeše

Mezi další nutné a do značné míry ovlivňující vybavení fotovoltaického systému řadíme měnič, jehož funkce je převádět stejnosměrné napětí z fotovoltaických polí na napětí o frekvenci místní rozvodné AC sítě. Pro navrhovaný systém volím vysoce účinný měnič FRONIUS IG-TL-5.0. Pro úplnost přikládám katalogové informace dle [21]:

DC jmenovitý výkon 5250W, rozsah napětí 350-700V, max.proud 15.0A,
 AC jmenovitý výkon 5000W, výstupní napětí 230V, EU účinnost 97,3%,
 činitel zkreslení <3.0%, účinník 1, vlastní spotřeba v noci < 1W, MPP manager,
 beztransformátorový, USB Download/Upload, LCD displej, 3 volné sloty pro karty,
 hliníkové opláštění, krytí IP55 pro venkovní montáž, provozní teplota -20°C až +55°C,
 obsahuje nástěnný držák, rozměr 597 x 413 x 195mm, hmotnost 19,1 kg

10.3.2 Výpočet produkce elektřiny na jižní střeše

Location: 49°27'0" North, 17°26'36" East,
 Elevation: 211 m a.s.l.,

Nominální hodnota výkonu systému: 4.7 kW
 (monokrystal.křemík)

Ohadované ztráty způsobené teplotou : 7.7%
 Ohadované ztráty způsobené odrazem paprsků:
 2.9%

Další ztráty (vodiče, střídač, atd.): 10.0%

Celkem ztráty systému: 19.4%

Následující výpočet byl proveden pomocí volně dostupného programu pro zhodnocení vhodnosti fotovoltaického systému PVGIS dle [22], přičemž ztráty systému byly stanoveny na 10%. Tuto hodnotu jsem zvolil kvůli vysoce účinnému střídači, jehož ztráty se pohybují pouze okolo 3%. Zbýlý rozdíl byl ponechán pro ztráty ve vodičích. Uvažuji sériové zapojení panelů vhodné pro grid-on systémy s maximálním teoretickým výkonem 4,75kWp.

Tab.7

Statický systém: vertikální sklon=35°, orientace=2°				
Měsíc	E_d	E_m	H_d	H_m
Leden	5,14	159,00	1,21	37,70
Únor	8,52	239,00	2,70	57,90
Březen	12,20	379,00	3,50	94,70
Duben	15,80	474,00	4,14	124,00
Květen	18,40	569,00	4,95	154,00
Červen	17,90	536,00	4,88	146,00
Červenec	19,00	589,00	4,88	162,00
Srpen	17,20	532,00	5,24	146,00
Září	13,30	400,00	4,71	106,00
Říjen	11,50	343,00	3,53	87,60
Listopad	5,32	159,00	1,30	39,00
Prosinec	3,61	112,00	0,86	26,60
Roční průměr	12,30	374,00	3,24	98,50
Celkem za rok		4490,00		1180,00

10.3.3 Kalkulace návratnosti investice v případě jižní střechy

Kalkulace je provedena pro grid-on systém, kdy je veškerá elektrická energie odkupována provozovatelem distribuční sítě. Cena pro letošní rok 2010 je 12,25Kč/kWh.

Výdaje			
Druh zboží	počet	cena s DPH/ks	cena celkem
FV panel SPR - 315 - WHT	15	28 788 Kč	431 820 Kč
měníč FRONIUS IG-TL-5.0	1	78 552 Kč	78 552 Kč
hliníková konstrukce	4	4 284 Kč	17 136 Kč
Celková cena systému			527 508 Kč

Tab.8

Příjmy	
Leden	1 948 Kč
Únor	2 928 Kč
Březen	4 643 Kč
Duben	5 807 Kč
Květen	6 970 Kč
Červen	6 566 Kč
Červenec	7 215 Kč
Srpen	6 517 Kč
Září	4 900 Kč
Říjen	4 202 Kč
Listopad	1 948 Kč
Prosinec	1 372 Kč
Celkem za rok	55 015 Kč

Tab.9

Hotovostní toky	
Návratnost investice na jižní střechě	9,6 let
Hrubý zisk v uvažovaném období 25let	847 231 Kč

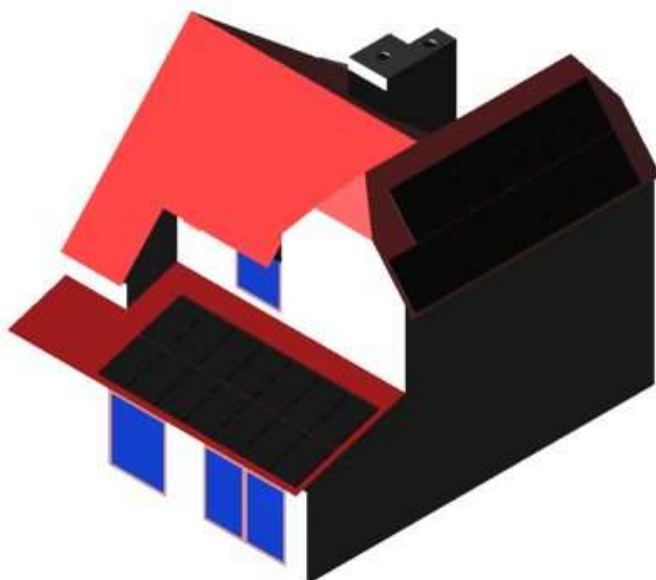
Tab.10

10.4 Západní střecha

V případě projektu západní střechy byly pro základní kalkulaci voleny stejné panely i střídač jako pro projekt jižní střechy. Tato konfigurace poskytne ideální srovnání obou projektů.

10.4.1 Rozmístění fotovoltaických panelů na západní střěše

Vzhledem k rozměrům zvoleného panelu volím uspořádání dle obr.26. Zde je patrné, že na západní střechu byl umístěn maximální možný počet panelů, tedy čtrnáct.



Obr.26 Rozmístění panelů na západní střěše

10.4.2 Výpočet produkce elektřiny na západní střeše

Location: 49°27'0" North, 17°26'36" East,
 Elevation: 211 m a.s.l.,

Nominální hodnota výkonu systému: 4,4 kW
 (monokrystalický křemík)

Ohadované ztráty způsobené teplotou : 7,5%
 Ohadované ztráty způsobené odrazem paprsků:
 4%

Další ztráty (vodiče, střídač, atd.): 10.0%

Celkem ztráty systému: 20%

Tab.11

Statický systém: vertikální sklon=17°, orientace=90°

Měsíc	E_d	E_m	H_d	H_m
Leden	2,76	85,5	0,77	23,90
Únor	5,26	147	1,43	39,90
Březen	8,96	278	2,41	74,90
Duben	13,10	394	3,66	110,00
Květen	16,70	516	4,77	148,00
Červen	16,90	506	4,90	147,00
Červenec	17,60	544	5,14	160,00
Srpen	14,70	456	4,29	133,00
Září	10,10	303	2,87	86,10
Říjen	6,95	216	1,95	60,50
Listopad	3,08	92,3	0,87	26,20
Prosinec	1,95	60,5	0,56	17,40
Roční průměr	9,86	300	2,81	85,50
Celkem za rok		3600,00		1030,00

Tab.12

10.4.3 Kalkulace návratnosti investice v případě západní střechy

Stejně jako v případě jižní střechy kalkulační uvažována pro systém grid-on, kdy je veškerá produkovaná el. energie odkupována provozovatelem distribuční sítě (ČEZ, E-on).

Výdaje			
Druh zboží	počet	cena s DPH/ks	cena celkem
FV panel SPR - 315 - WHT	14	28 788 Kč	403 032 Kč
měníč FRONIUS IG-TL-5.0	1	78 552 Kč	78 552 Kč
hliníková konstrukce	4	4 284 Kč	17 136 Kč
Celková cena systému			498 720 Kč

Tab.13

Příjmy	
Leden	1 047 Kč
Únor	1 801 Kč
Březen	3 405 Kč
Duben	4 826 Kč
Květen	6 321 Kč
Červen	6 198 Kč
Červenec	6 664 Kč
Srpen	5 586 Kč
Září	3 712 Kč
Říjen	2 646 Kč
Listopad	1 131 Kč
Prosinec	741 Kč
Celkem za rok	44 078 Kč

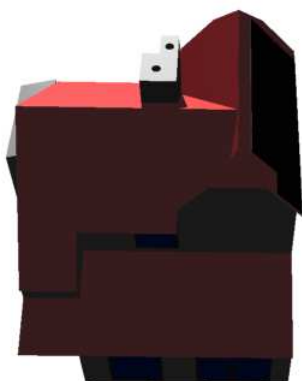
Tab.14

Hotovostní toky	
Návratnost investice na jižní střeše	11,3 let
Hrubý příjem v uvažovaném období 25let	603 868 Kč

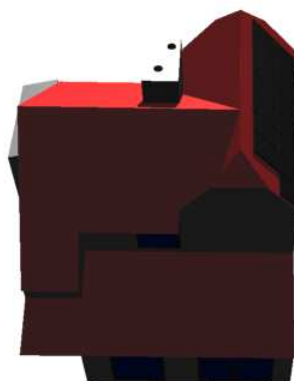
Tab.15

10.4.4 Studie pohybu slunce po obloze

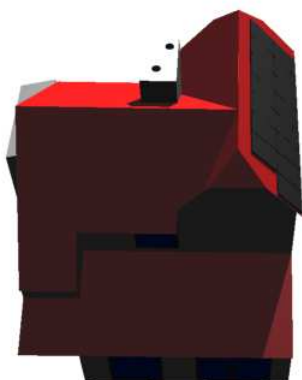
Teoretický výpočet pro západní střechu dává překvapivě dobré výstupy. I přes skutečnost, že střecha je orientována na západ a skloněna pod úhlem 17° je výnosnost projektu poměrně dobrá. Výpočet však nezahrnuje fakt, že notná část střechy je během dne zastíněna, což ukazuje vymodelovaná studie pohybu slunce po obloze nad reálným objektem viz níže. Vztažný den, pro který byl model vypracován je 21.den v měsících duben a srpen. V obou těchto měsících je cesta Slunce po obloze stejná.



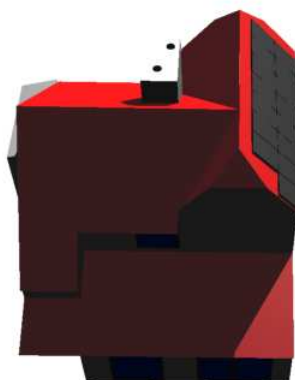
Obr.27 Osvit uvažovaných střech v měsících duben a srpen,
6hodin



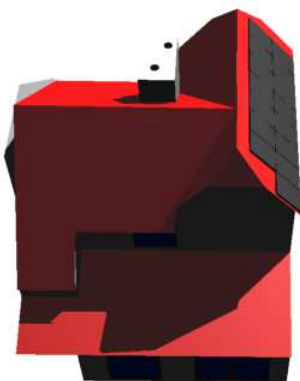
Obr.28 Osvit uvažovaných střech v měsících duben a srpen,
7hodin



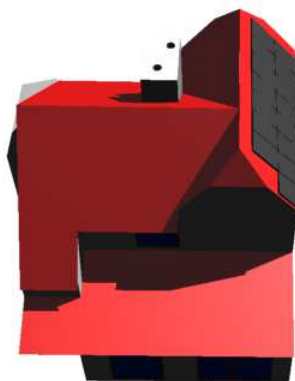
Obr.29 Osvit uvažovaných střech v měsících duben a srpen,
8hodin



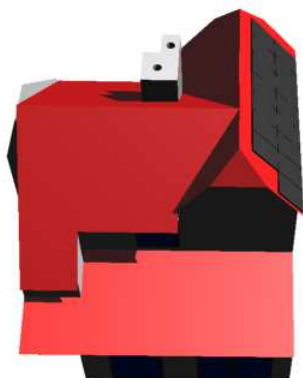
Obr.30 Osvit uvažovaných střech v měsících duben a srpen,
9hodin



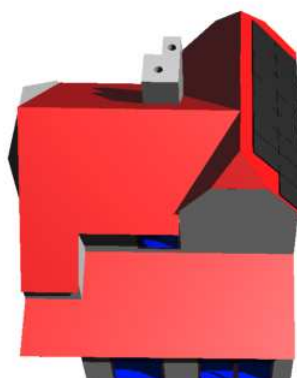
Obr.31 Osvit uvažovaných střech v měsících duben a srpen,
10hodin



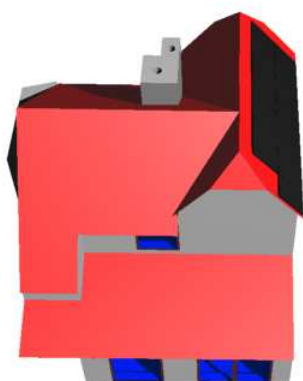
Obr.32 Osvit uvažovaných střech v měsících duben a srpen,
11hodin



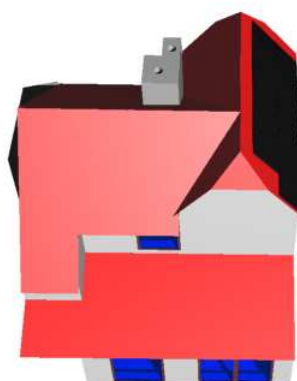
Obr.33 Osvit uvažovaných střech v měsících duben a srpen,
12hodin



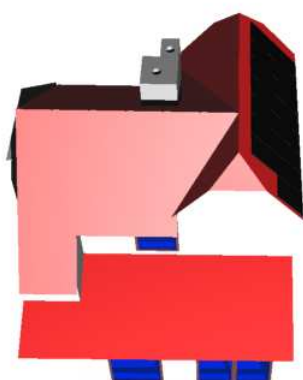
Obr.34 Osvit uvažovaných střech v měsících duben a srpen,
13hodin



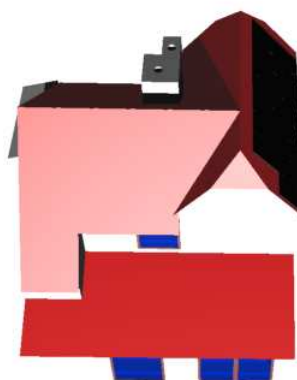
Obr.35 Osvit uvažovaných střech v měsících duben a srpen,
14hodin



Obr.36 Osvit uvažovaných střech v měsících duben a srpen,
15hodin



Obr.37 Osvit uvažovaných střech v měsících duben a srpen,
16hodin

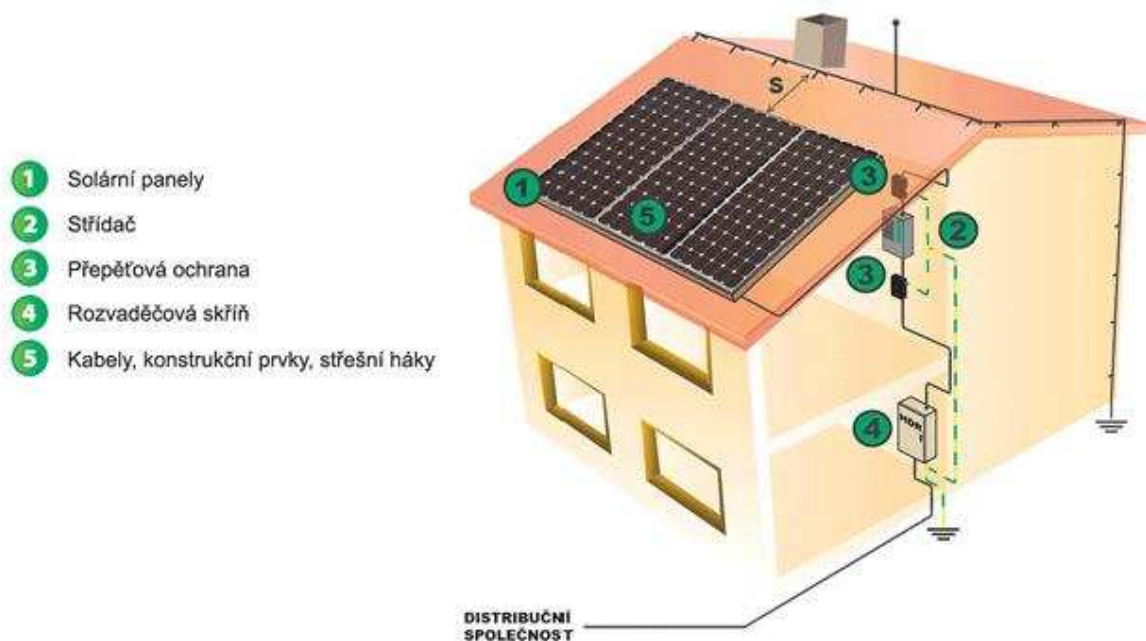


Obr.38 Osvit uvažovaných střech v měsících duben a srpen,
17hodin

Z přiložené simulace pohybu Slunce po obloze a následného osvit uvažovaných střech vyplývá, že západní střecha na rozdíl od jižní není rovnoměrně osvětlena po celý den. Přibližně do jedenácti hodin je část uvažované západní střechy zastíněna štítem. Lze tedy očekávat, že produkce fotovoltaických panelů bude podstatně menší, než produkce vypočtená za ideálních podmínek – tedy bez stínění.

10.5 Zapojení komponent fotovoltaického systému

Uvažované komponenty zvoleného fotovoltaického systému budou zapojeny podle schématu dle přiloženého obr.28. Součástí obvodu bude kromě jiného i přepětová ochrana jak na straně střídavého, tak i na straně stejnosměrného proudu. Toto uspořádání slouží jako nadproudová ochrana a zároveň jako ochrana proti přepětí. Za rozvaděč pak bude zapojen samostatný elektroměr.



Obr.28 Zapojení fotovoltaických panelů, zdroj: [28]

11. Závěr

Práce shrnuje tematiku dnešní fotovoltaiky. Ta prožívá zejména v posledních letech boom na celosvětové úrovni a lze očekávat, že vzhledem k energetické krizi její podíl na celkově vyrobené elektrické energii nadále poroste. Energetická návratnost je již v dnešní době pozitivní, tzn. fotovoltaický článek dokáže během své životnosti vyprodukovat více energie, než je spotřebováno na jeho výrobu.

Při návrhu fotovoltaického systému pro reálný objekt – rodinný dům stojící v Olomouckém kraji ve městě Přerov, byly uvažovány dvě varianty fotovoltaického systému. První variantou byla soustava monokrystalických panelů umístěná na téměř ideálně orientované jižní střeše se sklonem 35°. Ta je po celý den rovnoměrně osvětlena. Provedený teoretický výpočet ukazuje, že díky vysoké účinnosti monokrystalických článků je výnosnost z investice velice dobrá. U druhé varianty byly uvažovány taktéž panely z monokrystalického křemíku stejné značky, avšak umístěné na části střechy s orientací na západ. Návratnost této investice je i přes nevýhodnou orientaci a sklon překvapivě dobrá. Kalkulace vytěžené částky u západní střechy však nezahrnuje fakt, že přibližně do jedenácti hodin je pole fotovoltaických panelů částečně zastíněno a panely jsou nerovnoměrně osvětleny.

Dále výpočet neobsahuje změny výkonu systému, které po určité době klesají k 90% původní hodnoty v případě uvažovaných monokrystalických článků a výdaje na koupi a instalaci vodičů. Ty, v porovnání s investicemi do panelů a střídačů, jsou malé a návratnost vložené částky nijak zásadně nezmění. Lze také očekávat, že státem zaručené výkupní ceny elektřiny budou i nadále klesat.

Po zahrnutí všech těchto faktorů se reálná návratnost vloženého finančního obnosu bude lišit od teoretického výpočtu. I přesto si dovoluji tvrdit, že projekt jižní střechy je výhodný a výtěžek v uvažovaném období 25 let je pro fyzickou osobu zajímavý. V případě západní střechy je investice vzhledem k orientaci a proměnnému osvětlení během dne diskutabilní, dle mého názoru nepříliš výhodná.

Podle aktuálních informací na poli fotovoltaiky v ČR platí stop stav, kdy žádné další fotovoltaické elektrárny nebudou připojeny k distribuční síti. Oba projekty tedy nejsou do zrušení tohoto stavu realizovatelné.

12. Seznam použitých symbolů

E_d ... průměrná denní produkce elektřiny daného systému (kWh)

E_m ... průměrná měsíční produkce elektřiny daného systému (kWh)

H_d ... průměrný denní součet celkového záření na metr čtvereční fotovoltaického modulu(kWh/m²)

H_d ... průměrný součet celkového záření na metr čtvereční fotovoltaického modulu(kWh/m²)

13. Seznam použitých zdrojů

13.1 Seznam použité literatury a internetu

- [1] Cihelka, J. *Solární tepelná technika*. 1. vyd. Praha : T. Malina, 1994. 208s.
ISBN 80-900759-5-9
- [2] Wikipedia. *Termonukleární fúze* [online]. [cit. 2010-01-02]. URL:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Termonukleární_fúze>
- [3] Murtinger, P., Beranovský, J., Tomeš, M. *Fotovoltaika elektrina ze Slunce*. 2. vyd. Praha, Brno : ERA, 2008, 81s. ISBN 978-80-7366-133-5
- [4] ElektriKa.cz. *Elektrotechnika každý den* [online]. [cit. 2010-01-02]. URL:
<<http://elektrika.cz/data/clanky/historie-fotovoltaiky/view?searchterm=historie%20fotovoltaiky>>
- [5] Wikipedia. *P-N přechod* [online]. [cit. 2010-01-06]. URL:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Přechod_P-N>
- [6] U.S. Department of technology [online]. [cit. 2010-01-10]. URL:
<<http://www1.eere.energy.gov/>>
- [7] TZB Info. *Fotovoltaika druhé a třetí generace* [online]. [cit. 2010-01-10]. URL:
<<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3506>>
- [8] *Fullspectrum* [online]. [cit. 2010-01-02]. URL: <http://www.fullspectrum-eu.org/3_0.html>
- [9] *Isolar* [online]. [cit. 2010-02-05]. URL:
<http://www.isolar.cz/technologie.html#ctvrta_generace>
- [10] *The encyclopedia of alternative energy* [online]. [cit. 2010-02-05]. URL:
<http://www.daviddarling.info/encyclopedia/H/AE_homojunction.html>
- [11] *Czech RE agency* [online]. [cit. 2010-01-02]. URL: <<http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika#hist>>
- [12] *SolarEnvi* [online]. [cit. 2010-04-09]. URL:
<<http://www.solarencvi.cz/show.php?ida=4&ids=3&par=>>>
- [13] TZB Info. *Začínáme s fotovoltaickými panely* [online]. [cit. 2010-03-18]. URL:
<<http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=6068&h=303&pl=49>>
- [14] *Traxle* [online]. [cit. 2010-03-08]. URL: <<http://www.solar-trackers.com/cz/>>
- [15] Wikipedia. *Solar trackers* [online]. [cit. 2010-01-12]. URL:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_tracker>
- [16] *Sledovač Slunce Traxle* [online]. [cit. 2010-01-18]. URL:
<<http://www.pvpumps.com/sledovac.htm>>
- [17] *Ekosolaris* [online]. [cit. 2010-03-14]. URL: <<http://www.ekosolaris.cz/solarni-page.php?ide=25>>

- [18] TZB Info. *Návrhy pro snížení výkupní ceny pro rok 2011* [online]. [cit.2010-03-14]. URL: <<http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=6185&h=303&pl=49>>
- [19] SolarEnvi [online]. [cit.2010-03-22]. URL: <<http://www.solarenavi.cz/show.php?ida=24&ids=6>>
- [20] Ekowatt [online]. [cit.2010-03-12]. URL: <<http://fotovoltaika.ekowatt.cz/vliv-sklonu-orientace.php>>
- [21] *Střídače FRONIUS* [online]. [cit.2010-03-22]. URL: <http://www.stridace-fronius.cz/show_product.php?id=491+01040>
- [22] JRC. *PVGIS* [online]. [cit.2010-03-22]. URL: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php#>>

13.2 Seznam zdrojů použité obrazové dokumentace a tabulek

- [1] The physics of the universe [online]. [cit.2010-01-02]. URL: <http://www.physicsoftheuniverse.com/images/glossary_fusion.jpg>
- [2] Amazing Space [online]. [cit.2010-01-02]. URL: <<http://amazing-space.stsci.edu/resources/explorations/groundup/lesson/basics/g17b/>>
- [3] U.S. Department of technology [online]. [cit.2010-01-02]. URL: <http://www1.eere.energy.gov/solar/photoelectric_effect.html>
- [4] U.S. Department of technology [online]. [cit.2010-01-08]. URL: <http://www1.eere.energy.gov/solar/solar_cell_materials.html>
- [5] TZB Inko [online]. [cit.2010-01-02]. URL: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3506>>
- [6] Photographic information exchange [online]. [cit.2010-03-16]. URL: <<http://www.nrel.gov/data/pix/searchpix.php>>
- [7] U.S. Department of technology [online]. [cit.2010-02-04]. URL: <http://www1.eere.energy.gov/solar/solar_cell_structures.html>
- [8] Hot cellular phone [online]. [cit.2010-02-05]. URL: <<http://hotcellularphone.com/lg/lg-electronics-commences-production-solar-cells-modules/>>
- [9] SolarEnvi [online]. [cit.2010-02-05]. URL: <<http://www.solarencvi.cz/show.php?ida=4&ids=3&par=>>>
- [10] Primary colours [online]. [cit.2010-02-06]. URL: <http://smartsurfaces.blogspot.com/2009_10_01_archive.html>
- [11] Urban sprout [online]. [cit.2010-01-14]. URL: <<http://www.urbansprout.co.za/article/energy?page=11>>
- [12] A+F GmBh [online]. [cit.2010-01-23]. URL: <http://www.af.net/files/skycarrier_1000_300dpi.jpg>
- [13] TF.CZU.CZ [online]. [cit.2010-01-24]. URL: <<http://tf.czu.cz/~libra/trac-kan.jpg>>
- [14] Sledovač slunce TRAXLE [online]. [cit.2010-03-02]. URL: <<http://www.pvpumps.com/sledovac.htm>>
- [15] U.S. Department of technology [online]. [cit.2010-03-02]. URL: <http://www1.eere.energy.gov/solar/pv_cell_light.html>
- [16] Cihelka,J.: Solární tepelná technika, *T.Malina*, 1994, 208stran
- [17] Wikipedia. Pyranometr [online]. [cit.2010-02-22]. URL: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/53/Hukseflux_radiometer_sr11_p_hoto.jpg>
- [18] Regenerative Energien und Klimaschutz. Pyheliometr [online]. [cit.2010-01-22]. URL: <http://www.volker-quaschnig.de/fotos/messung/Pyrheliometer2_1024x768.jpg>

- [19] ČHMÚ. Roční úhrn dopadajícího slunečního záření [online]. [cit.2010-01-22]. URL: <<http://www.chmu.cz/meteo/ok/atlas/uvod.html>>
- [20] ČHMÚ. Informace o klimatu [online]. [cit.2010-04-01]. URL: <<http://www.chmu.cz/meteo/ok/infklim.html>>
- [21] TZB Info [online]. [cit.2010-04-04]. URL: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=6093>>
- [22] Solar shop [online]. [cit.2010-03-04]. URL: <<http://www.solarshop.cz/images/solartec-sg-65.jpg>>
- [23] Solární panely – prodej [online]. [cit.2010-03-07]. URL: <<http://files.solarni.webnode.cz/200000010-cf6b3d0232/fotovoltaiicky-panel.jpg>>
- [24] 123Store [online]. [cit.2010-04-02]. URL: <<http://www.123store.cz/solarni-panely/solarni-amorfni-panel-36w>>
- [25] W.L.A. de bot [online]. [cit.2010-03-06]. URL: <<http://www.debotshipbrokers.nl/>>
- [26] Green tech zone [online]. [cit.2010-04-12]. URL: <http://www.engenius.net/site/zones/greentechZONE/product_reviews/grnp_060203>
- [27] All business [online]. [cit.2010-01-02]. URL: <<http://www.allbusiness.com/electronics/computer-electronics-manufacturing/5222106-1.html>>
- [28] Zetas [online]. [cit.2010-04-04]. URL: <<http://www.zetas.cz/co-nabizime/zamecnicka-vyroba/fotovoltaiicke-systemy.html>>