

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Problematika zvyšování účinnosti fotovoltaických systémů

Lukáš Kokeš

2012/2013

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš KOKEŠ**
Osobní číslo: **E11B0376P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Problematika zvyšování účinnosti fotovoltaických systémů**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Analyzujte pojmy "sluneční záření" a "fotovoltaický článek".
2. Uveďte typy fotovoltaických článků a jejich vlastnosti.
3. Zpracujte přehled možností zvyšování účinnosti fotovoltaických článků.
4. Porovnejte jednotlivé možnosti z hlediska energetického zisku a použití.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Hana Benešová

Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2013**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan



Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.

vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Abstrakt

Tato práce je zaměřena na zvyšování účinnosti fotovoltaických systémů. Nejprve si vysvětlíme základní pojmy, princip fotovoltaických článků a jejich postupný vývoj. Dále se zaměříme na jednotlivé způsoby zvýšení účinnosti. Výsledkem této práce bude porovnání možností zvýšení účinnosti z hlediska energetického zisku a použití.

Klíčová slova

sluneční záření, fotovoltaický jev, fotovoltaický článek, koncentrátor, sledovač Slunce

Abstract

This work is aimed at increasing the efficiency of photovoltaic systems. First, we explain basic concepts, principles photovoltaic cells and their gradual development. Next, we focus on various ways to increase efficiency. The result of this work will be compared to the potential for increasing efficiency in terms of energy gain and use.

Key words

solar radiation, photovoltaic effect, photovoltaic cell, solar concentrator, solar tracker

Prohlášení

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

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

.....
podpis

V Plzni dne 6.6.2013

Lukáš Kokeš

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí bakalářské práce Ing. Haně Benešové za ochotu, cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

ÚVOD	9
1 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ	10
2 FOTOVOLTAICKÝ ČLÁNEK	12
2.1 FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY PRVNÍ GENERACE	13
2.1.1 <i>Princip křemíkového krystalického článku</i>	13
2.2 FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY DRUHÉ GENERACE	16
2.2.1 <i>Amorfni křemíkový článek</i>	16
2.3 FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY TŘETÍ GENERACE	16
2.3.1 <i>Vícevrstvé fotovoltaické články - tandemové</i>	17
2.3.2 <i>Organické články</i>	18
3 MOŽNOSTI ZVYŠOVÁNÍ ÚČINNOSTI	19
3.1 PEVNÉ UMÍSTĚNÍ FV PANELŮ	19
3.2 POLOHOVATELNÉ (SLEDOVAČE SLUNCE)	19
3.2.1 <i>Pasivní sledovací systémy</i>	19
3.2.2 <i>Aktivní sledovací systémy</i>	20
3.3 KONCENTRÁTORY	23
3.3.1 <i>Fresnelova čočka</i>	23
3.3.2 <i>Oboustranné fotovoltaické panely</i>	24
3.3.3 <i>Super Traxle</i>	25
3.4 ANTIREFLEXNÍ VRSTVA	26
4 POROVNÁNÍ MOŽNOSTÍ ZVÝŠENÍ ÚČINNOSTI Z HLEDISKA MATERIÁLŮ	27
4.1 ROZDÍLY MEZI PRVNÍ A DRUHOU GENERACÍ FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ.....	27
4.1.1 <i>První generace</i>	27
4.1.2 <i>Druhá generace</i>	27
4.2 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH TYPŮ ČLÁNKŮ	27
5 ZÁVĚR	30
6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	31
7 PŘÍLOHY	35

Úvod

Lidé si od devatenáctého století nedokážou představit život bez elektrické energie. V poslední době čím dál více hledají náhradu za fosilní paliva (uhlí, ropa, plyn), jejichž odhad pro vyčerpání se počítá na několik desítek let. Při stálém růstu populace mají lidé strach ze změn klimatu a stálého znečišťování ovzduší důsledkem neobnovitelných zdrojů. Proto hledají způsoby jak využít zdroje obnovitelné, které jsou především ekologicky čisté.

Slunce se považuje za obnovitelný zdroj. Proto se elektrická energie začala vyrábět pomocí FV elektráren. Několik desítek let se stále vyvíjí nové technologie solárních článků, aby jejich výroba nebyla energeticky a ekonomicky náročná.

V mé práci se zaměřím na popis sluneční energie a její přeměny na elektrickou. Vysvětlím princip fotovoltaických článků a rozdělím je na jednotlivé generace. Dále popíši jednotlivé druhy zvýšení účinnosti fotovoltaických systémů s následným porovnáním z hlediska energetického zisku a použití.

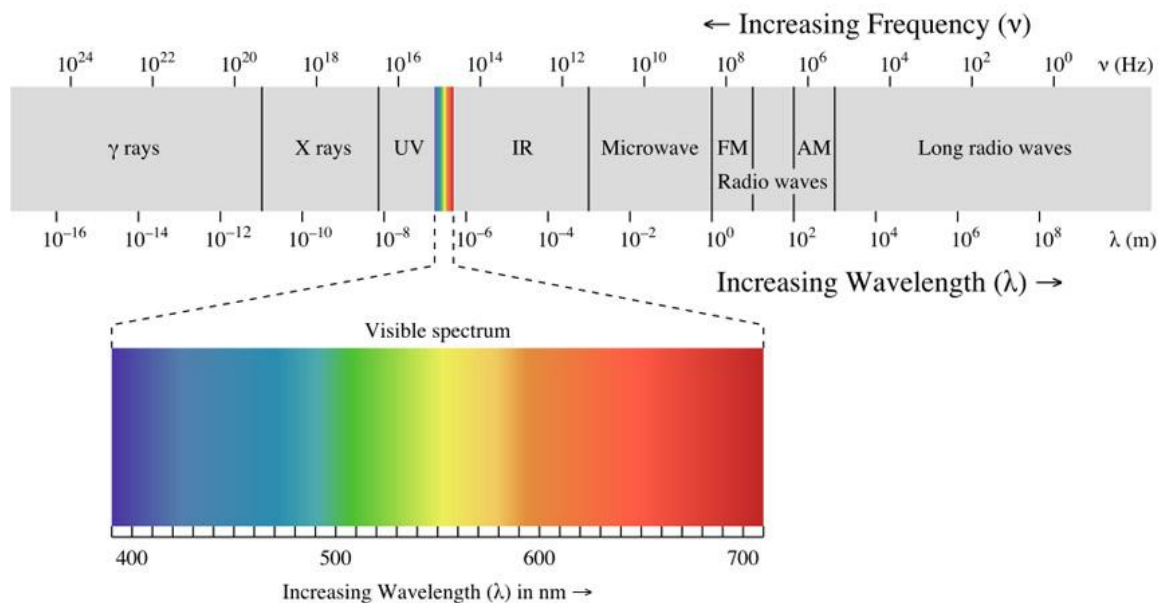
V první části mé práce se zaměřím na sluneční záření a jeho rozdělení podle vlnových délek, principy fotovoltaických článků a jejich rozdělení.

V další části se zaměřím na způsoby zvyšování účinnosti pomocí natáčení panelů ke Slunci, koncentrátorů nebo antireflexní vrstvou.

V poslední části mé práce porovnáám zisk jednotlivých článků z různých materiálů a uvedu zde některé používané typy FV panelů.

1 Sluneční záření

Sluneční záření je elektromagnetického vlnění o různých vlnových délkách. Vlnová délka elektromagnetického záření je v rozsahu řádově od 10^{-9} do 10^{-3} . Čím je jeho vlnová délka kratší, tím má větší energii. Intenzita slunečního záření a jeho spektrální složení závisí na mnoha faktorech - oblačnosti, nadmořské výšce, prachových částicích obsažených v atmosféře, ročním období, denní době atd. Sluneční záření rozdělujeme do tří základních skupin podle vlnových délek - infračervené záření, viditelné světlo a ultrafialové záření. [2]



Obr. 1 - Znárodnění celého spektra slunečního záření [4]

Infračervené záření - jeho vlnová délka se pohybuje přibližně od 1mm do 760nm. Zdrojem jsou rozžhavená tělesa a naopak při pohlcování IČ záření dochází k tepelné výměně a těleso se zahřívá. [1]

Viditelné světlo - vlnová délka se pohybuje od 760nm do 400nm. Je to záření, které dokážeme vnímat zrakem. Podle vlnových délek je rozloženo na jednotlivé barvy od fialové až po červenou.

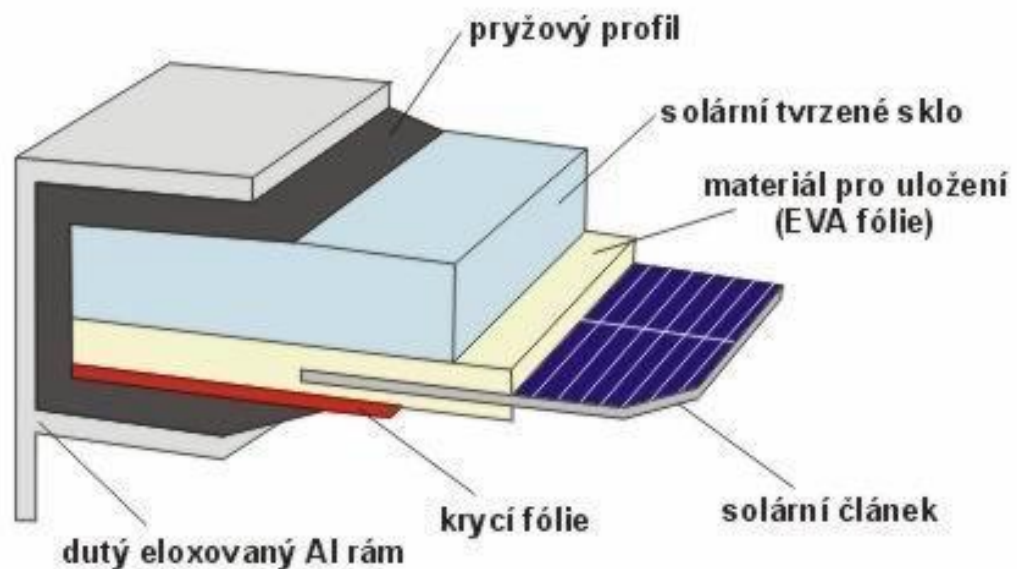
Ultrafialové záření - vlnová délka se pohybuje od 400nm do 10nm. Pro člověka je toto záření neviditelné, ale někteří živočichové jej dokážou vnímat. Část tohoto záření je absorbována atmosférickým ozónem a jeho množství stoupá s nadmořskou výškou. Při nadměrném vystavování tomuto záření může dojít k poškození zdraví. [38]

Sluneční záření určuje přírodní pochody nepostradatelné pro náš život, jako je fotosyntéza, déšť, vítr, mořské proudy atd. Díky tomu se může sluneční energie přeměňovat a dále využívat. Za přímé využití sluneční energie se považuje přeměna na elektrickou energii pomocí fotovoltaických článků, pro ohřev užitkové vody nebo například v zemědělství (skleníky). Nepřímo se tato energie přeměňuje na fosilní paliva (uhlí, zemní plyn, ropa) , vodní (vypaření a následná kondenzace ve vyšších nadmořských výškách) a větrnou energii (nerovnoměrné zahřívání zemského povrchu - vznik větru). [3]

2 Fotovoltaický článek

Fotovoltaický článek je polovodičová součástka, která přeměňuje světlo na elektrickou energii. Působením slunečního záření na polovodič (křemík) dochází k pohlcování fotonů a uvolňování elektronů. První články dnešní podoby byly vyrobeny z monokrystalického křemíku v Bellově laboratoři v roce 1954. Tyto články dosahovaly účinnosti kolem 6%. Od této doby se začaly používat články založené na krystalické formě křemíku.

Pracovní napětí jednoho fotovoltaického článku je cca 0,5V, a proto se spojují do tzv. fotovoltaických panelů, který je také chrání před nepříznivými podmínkami, mechanickým poškozením, znečištěním, korozí atd. Panel se skládá ze solárního článku, který je pokrytý tenkou vrstvou fólie EVA (Ethylene vinyl acetate) mající index lomu podobný jako sklo. Zespodu chrání články několikavrstvá krycí fólie Teldar, Polymer a shora pevné tvrzené leštěné sklo. Vše je utěsněno a zasazeno do dutého hliníkového rámu. [8, 27]



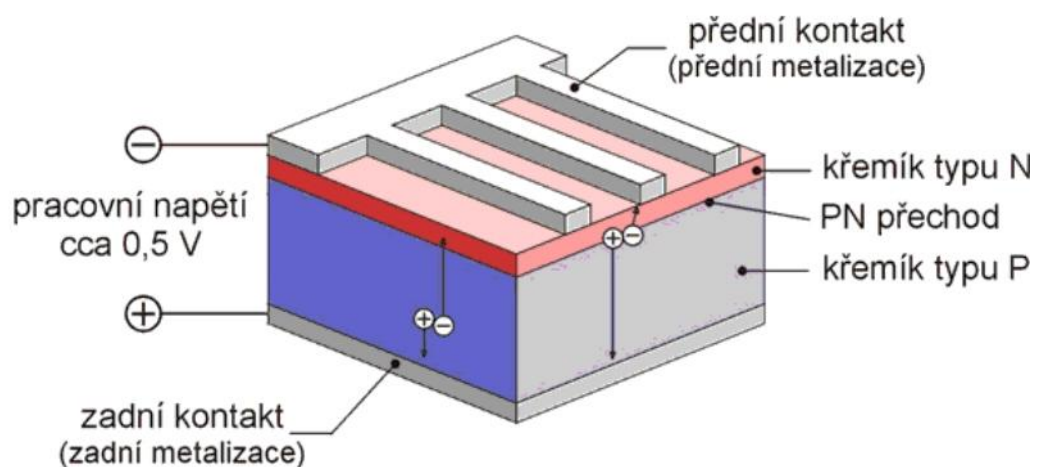
Obr. 2 - Znáornění složení fotovoltaického panelu [27]

2.1 Fotovoltaické články první generace

V dnešní době je na trhu přibližně 85% fotovoltaických článků první generace. Tyto články založené na krystalické formě křemíku, využívající P-N přechody. Rozdělují se na monokrystalické a polykrystalické. Monokrystalické články s účinností 11% až 15% jsou tvořeny z jednoho křemíkového krystalu a jsou vyráběné pomalým vytahováním z roztavené křemíkové hmoty. Polykrystalické články s účinností 11% až 13% jsou tvořeny krystalickou mřížkou a vyráběny lisováním. Na rozdíl od článků monokrystalických dokážou zachytit více rozptýleného světla.

2.1.1 Princip křemíkového krystalického článku

Fotovoltaický článek je vlastně velkoplošná dioda s jedním PN přechodem. Skládá se z částí, které mají elektronovou vodivost (typ N) a děrovou vodivost (typ P). Po absorbování fotonu vznikne v polovodiči jedna volná díra a jeden volný elektron, které se musí rozdělit, což má za následek vznik napětí V_{OC} o velikosti přibližně 0,5V mezi předním a zadním kontaktem FV článku.

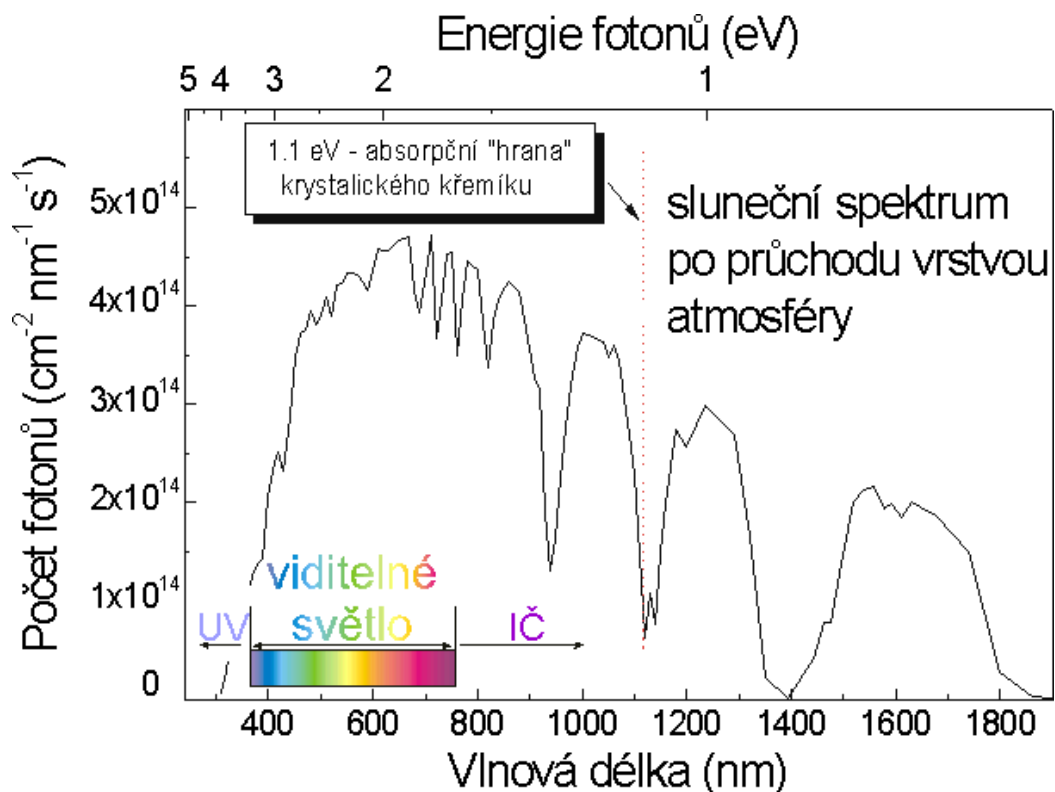


Obr. 3 - Princip činnosti křemíkového fotovoltaického článku [5]

Polovodič typu N je polovodič s elektronovou vodivostí. Vznikne přidáním pětímocného prvku (fosfor, antimon, arsen) do křemíku. Čtyři valenční elektrony se zúčastní kovalentní vazby (naváží se na křemík) a pátý elektron už se ve vazbě nemůže uplatnit a tak se za nízkých teplot snadno uvolní. Křemík s příměsí pětímocného prvku nazývaný donor má nadbytek volných elektronů, které způsobí po připojení ke zdroji jeho elektronovou vodivost.

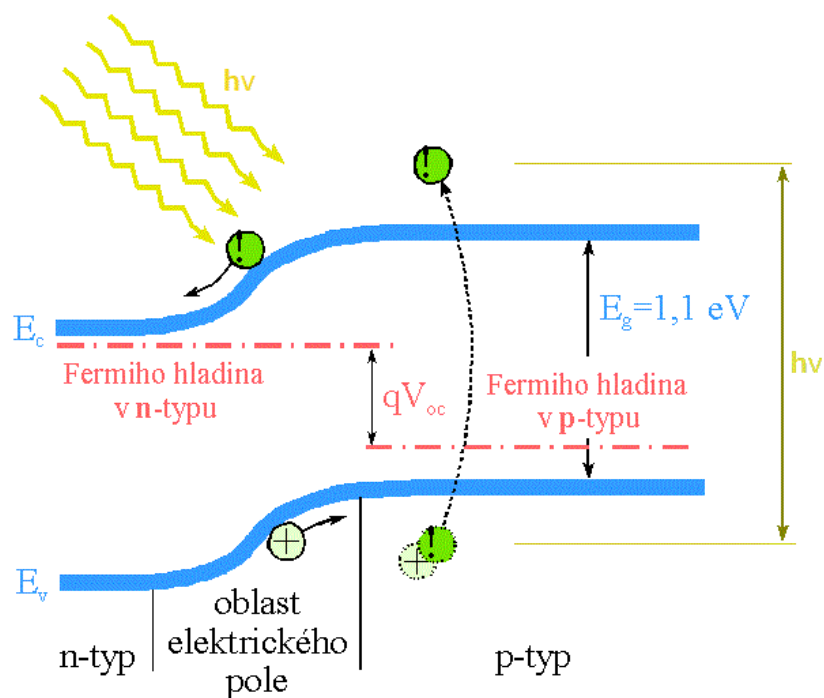
Polovodič typu P je polovodič s děrovou vodivostí. Vznikne přidáním trojmocného prvku (hliník, bor, galium, indium) do křemíku. Pro úplný vznik kovalentní vazby chybí jeden valenční elektron, a proto na místě nenasycené vazby vznikne tzv. díra. Elektron z jiné vazby může zaplnit tuto díru a ta se v krystalu přesune na jeho místo. Křemík s příměsí trojmocného prvku nazývaný akceptor má nadbytek volných děr, které způsobí při připojení ke zdroji jeho děrovou vodivost.

Z obr. 4 vidíme že křemík má absorpční hranu (vlnová délka při které dokáže ještě absorbovat světlo) zhruba $1,1\mu\text{m}$ (energie fotonu větší než $1,1\text{eV}$), což odpovídá celému ultrafialovému záření, viditelnému spektru a části infračerveného záření.



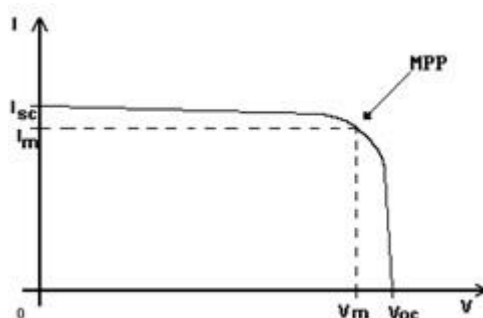
Obr. 4 - Znárodnění počtu fotonů při různých vlnových délkách slunečního záření [10]

Při dopadu na křemík není foton absorbován, jestliže je jeho energie menší než $1,1\text{eV}$. Pokud je energie fotonu, která odpovídá šířce zakázaného pásu ($E_g = E_c - E_v$) větší než $1,1\text{eV}$, dojde k absorpci a vznikne jedna volná díra a jeden volný elektron v polovodiči, ale také teplo, které odpovídá rozdílu šířky zakázaného pásma a energie dopadajícího fotonu.



Obr. 5 - Pásové schéma PN přechodu krystalického křemíku [10]

Připojením zátěže (R_z) ke zdroji můžeme získat VA charakteristiku fotovoltaického článku, kterou vidíme na obr. 6. Je zde vyznačeno pracovní napětí V_{OC} , které je závislé na teplotě, zkratový proud I_{SC} , který prochází pouze tehdy, když je $R_z=0$ a maximální výkon, který je závislý teplotě a intenzitě záření. Tomuto výkonu odpovídají hodnoty napětí U_m a proudu I_m . [5, 9, 10, 11, 12]



Obr. 6 - Voltampérová charakteristika fotovoltaického článku [5]

2.2 Fotovoltaické články druhé generace

Fotovoltaické články druhé generace jsou založeny na tenkých vrstvách, jejichž rozsah je od nanometrů do několika mikrometrů. Jako materiály se používají amorfni hydrogenizovaný křemík (a-Si:H), měď-indium-galium-diselenid (CIGS), kadmium-tellur (CdTe) mikrokrytalický hydrogenizovaný křemík ($\mu\text{c-Si:H}$), popř. protokrytalický křemík (poly-Si). Tyto články se liší především postupem výroby. Tenká vrstva materiálu se nanese na substrát (sklo, nerezová ocel, fólie). Výroba amorfniích článků je levnější, méně energeticky a materiálově náročná, ale jejich účinnost (cca 7%) je přibližně poloviční než u článků první generace.

2.2.1 Amorfni křemíkový článek

Rozdíl spočívá již ve výrobě. Tenká vrstva amorfniího křemíku se vyrábí metodou PECVD. Při této metodě přítomnost plazmy výrazně sníží teplotu umožňující chemické reakce. Tedy tenká vrstva se nanese na substrát (sklo) při teplotě kolem 250°C.

Jak vidíme na *Obr. 7*, tak se tyto panely se liší také vzhledem. Za slunečného počasí jsou hnědo-fialové a jejich barva se mění podle aktuálního počasí a úhlu pozorování.



Obr. 7 - Amorfni křemíkový článek 1) za slunečného počasí 2) za deště [19]

Výhody článků z amorfniího křemíku jsou, že kvůli vyšší citlivosti na rozptýlené sluneční záření jsou lépe použitelné pro místa (střechy), které nejsou orientovány na jih. Další výhodou je, že oproti krytalickému křemíku jeho účinnost s rostoucí teplotou klesá mnohem pomaleji a netrpí na přehřívání.

Nevýhody těchto článků je především jejich poloviční účinnost (7%), tudíž pro dosažení stejného výkonu je potřeba dvojnásobné plochy než je u krytalického křemíku. [13, 14, 19]

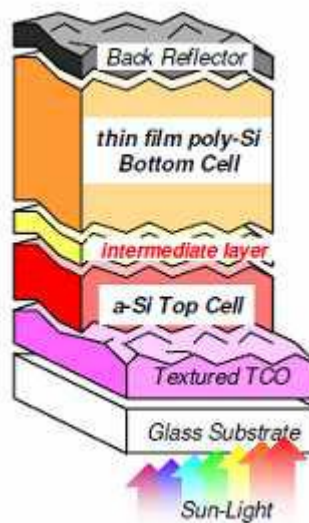
2.3 Fotovoltaické články třetí generace

Do fotovoltaických článků třetí generace patří především tandemové (vícevrstvé) a koncentrátorové FV články. Jako další se zde uvádějí např. světlo-citlivé články, organické články a články na základě kvantových struktur. Jejich účinnost je zatím velice malá a jsou spíše ve vývojové fázi. [15, 18]

2.3.1 Vícevrstvé fotovoltaické články - tandemové

Základem tandemového (vícevrstvého) článku jsou přechody p-i-n. Každá vrstva (p-i-n) absorbuje určitou část světelného spektra a zbylou část propustí do vrstev nižších. Díky tomu se maximalizuje energetická využitelnost fotonů.

U dvouvrstevných článků s maximální teoretickou účinností 42% jsou jednotlivé vrstvy tvořeny z amorfního hydrogenizovaného křemíku (a-Si:H) a mikrokrytalického hydrogenizovaného křemíku ($\mu\text{c-Si:H}$), kde amorfni křemík absorbuje oblast modré, zelené a žluté části spektra a mikrokrytalický křemík v oblasti červené a infračervené.



Obr. 8 - Složení vícevrstvého FV článku [7]

Článek, který vidíme na Obr. 8 se skládá ze dvou sub-článků, které obsahují p-i-n přechody. Jeden sub-článek je z amorfního hydrogenizovaného křemíku (a-Si:H), který absorbuje fotony s menší vlnovou délkou (vyšší energií). Druhý je z hydrogenizovaného mikrokrytalického křemíku ($\mu\text{c-Si:H}$) s větší vlnovou délkou (nižší energií). Sub-článek z $\mu\text{c-Si:H}$ má 10x silnější i-vrstvu než sub-článek z a-Si:H. Mezi těmito sub-články je střední vrstva (chová se jako p-n dioda), tzv. tunelové propojení přechodů.

Článek také tvoří substrát ze skla nebo plastové fólie. Jako další vrstva je TCO (vodivý oxid). Nejčastěji se používá vrstva oxidu zinečnatého dotovaná hliníkem nebo galiem (ZnO:Al, ZnO:Ga). Dále lze použít vrstvu ITO (indium tin oxid), ale jelikož je indium vzácný kov, tak je výroba velmi nákladná.

Pro správnou funkci je důležité, aby každý článek generoval stejný proud. Tyto články dokážou využívat velkou část dopadajícího světla, a proto jsou použitelné na místech odvrácených od Slunce, při zatažené obloze nebo zastínění. [7, 11, 18]

2.3.2 Organické články

Se snahou o nízkou výrobní cenu a velmi dobré mechanické vlastnosti se v poslední době vývoj zaměřuje také na organické články. Účinnost těchto článků je zatím velmi malá (nejvýše 6,5%), a proto zatím nemají ve světě využití. Nejvíce účinné články jsou v tandemovém uspořádání složené z molekul fullerenu a polovodivého polymeru. [28]



Obr. 9 - Článek z organických polymerů [28]

3 Možnosti zvyšování účinnosti

3.1 Pevné umístění FV panelů

Pevné fotovoltaické panely jsou instalované například na fasády, střechy domů nebo v fotovoltaických elektrárnách na "zelených loukách". Na těchto nosných konstrukcích je pevně daný úhel natočení fotovoltaického panelu. Pro největší účinnost by měly být panely natočeny směrem na jih pod úhlem 30°-45°.

3.2 Polohovatelné (sledovače Slunce)

Poloha Slunce se na obloze v průběhu celého dne mění, a proto pro zvýšení účinnosti se FV panely natáčejí proti Slunci pomocí sledovačů. Základní rozdělení sledovačů je na pasivní a aktivní (pomocí motorů, převodovek), které se dále rozdělují podle počtu natáčecích os na jednoosé a dvouosé.

3.2.1 Pasivní sledovací systémy

Tyto sledovače nejsou moc přesné, proto jsou vhodné pro křemíkové fotovoltaické panely. Nejčastější sledovače tohoto typu fungují na principu hydraulického mechanismu. Jsou použity kapaliny, které mají nízký bod varu. Podle slunečního tepla se plyn pohybuje buď na jednu, nebo na druhou stranu a tím způsobí pohyb sledovače. U těchto sledovačů se používají viskózní tlumiče, aby se zabránilo nadměrnému pohybu panelů při nárazech větru. Pro urychlení naklonění při východu Slunce se ve večerních hodinách panel vrací do středové polohy. [20]



Obr. 10 - Pasivní sledovač od firmy Zomeworks [37]

3.2.2 Aktivní sledovací systémy

3.2.2.1 Jednoosé

Jednoosé sledovací systémy jsou to proto, že se otáčejí pouze v jedné rovině. Osa může být orientována tak, že články jsou buď nakloněné (polární osa), a nebo mohou ležet (horizontální osa). Tyto systémy nejsou příliš složité, a proto jsou celkem levné. Díky pevné a stabilní konstrukci dokážou odolat i nepříznivým přírodním vlivům. [20, 21, 22, 23]

3.2.2.1.1 Polární

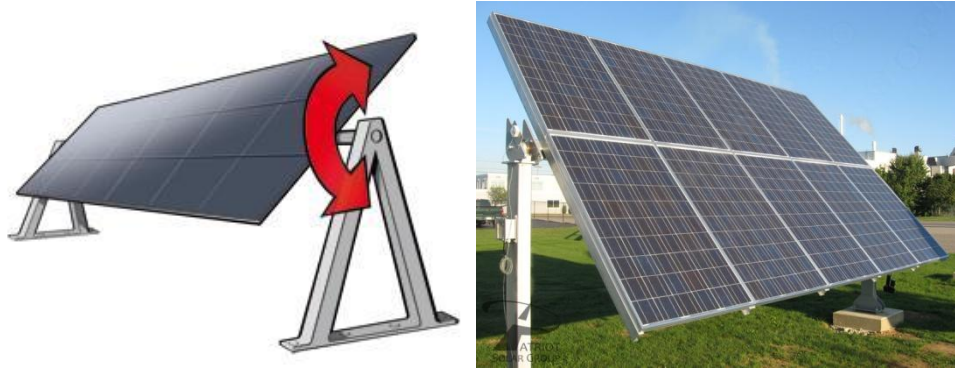
Polární sledovače mají jednu osu rovnoběžnou s osou rotace země. Jelikož je Slunce v každém ročním období jinak vysoko, je potřeba pro lepší účinnost nastavovat úhel sklonu. Tento úhel se nastavuje buď manuálně, nebo automaticky. Při manuálním nastavení je potřeba úhel nastavit alespoň dvakrát ročně, nejlépe při podzimní a jarní rovnodennosti. Jsou vhodné především pro místa, které jsou dále od rovníku (např. jih Austrálie). [20, 22, 23]



Obr. 11 - Polární jednoosý sledovač [20]

3.2.2.1.2 Horizontální

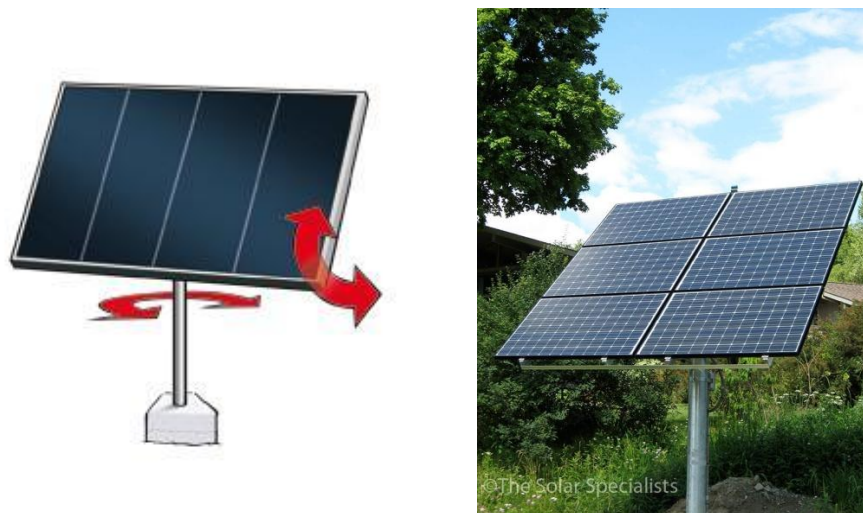
Osa horizontálních sledovačů je dlouhá tyč uložena v ložiskách, kterou mohou pohybovat buď aktivní (motor, který může pohybovat s více řadami panelů), nebo pasivní mechanismy. Vzhledem k vodorovnosti jsou tyto panely snadno přístupné pro čištění. Jsou vhodné především pro místa blízké rovníku (např. sever Austrálie). [20, 22, 23]



Obr. 12 - Horizontální jednoosý sledovač [29, 30]

3.2.2.2 Dvouosé

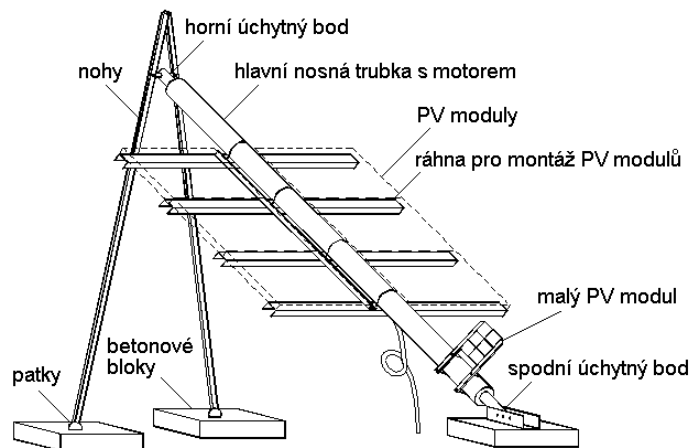
Dvouosé systémy umožňují umístit fotovoltaické panely kolmo proti Slunci po celou dobu dne. Jsou vhodné pro vyšší nadmořské výšky. Otáčení panelů zajišťují elektromotory, které podle polaridy proudu otáčejí fotovoltaické panely na jednu nebo na druhou stranu. Pro přesné nastavení úhlu se používají dva fotocitlivé senzory. Motor otáčí panely, dokud nejsou senzory stejně osvětlovány. Jsou tři typy dvouosých sledovačů. První a nejčastější typ je naklápěcí mechanismus umístěný na otočném sloupu, který je nevhodný pro místa, kde jsou nárazové větry. Druhý typ je, že jednotlivé panely, které se mohou naklápět, jsou umístěné na horizontální ose a třetí typ jsou panely umístěné na kruhové kolejnici. [20, 21, 22, 23]



Obr. 13 - Nejčastější typ dvouosého sledovače [30, 32]

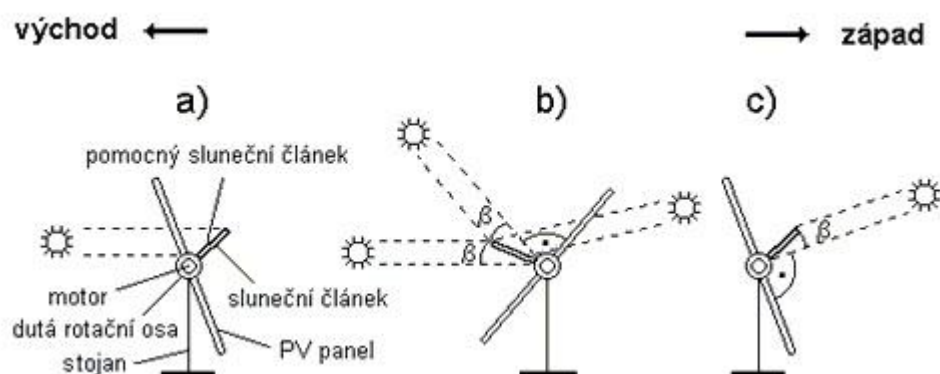
3.2.2.3 Sledovací systémy TRAXLE

V dnešní době jsou sledovací systémy TRAXLE (TrackingAxle) nejpoužívanější zařízení pro automatické natáčení panelů. Díky těmto systémům lze zvýšit účinnost až o 30%. Hlavní část zařízení je nosná hliníková trubka se stejnosměrným motorem uvnitř, který otáčí celým zařízením. Pohon motoru zařizuje malý FV modul ve spodní části trubky. Podle toho na jakou stranu malého FV modulu dopadá více slunečního záření, tak na tu stranu se sledovač otáčí.



Obr. 14 - Konstrukce sledovacího systému TRAXLE [17]

Na Obr. 14 je znázorněný pohyb panelu v průběhu dne. Před východem Slunce je zařízení v poloze, ve které večer ukončilo svoji činnost, orientované na západ. Po východu Slunce začne na článek dopadat sluneční záření a motor otáčí celým zařízením směrem na východ, dokud se nedostane na prahovou hodnotu síly. V průběhu dne se systém otáčí podle aktuální polohy Slunce. [16, 17]



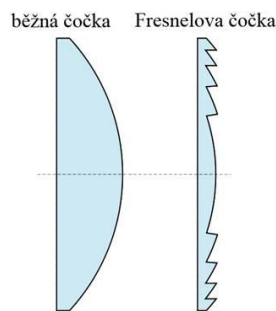
Obr. 15 - Pohyb sledovače TRAXLE v průběhu dne [16]

3.3 Koncentrátory

Jsou to systémy, které soustředí sluneční záření na fotovoltaický článek pomocí zrcadel nebo Fresnelovy čočky. Tyto čočky jsou vyráběny z levných plastů, proto je i cena těchto systémů nižší. Pro zvýšení účinnosti (která se pohybuje kolem 30%) těchto systémů je třeba vyšší intenzity slunečního záření a stálá orientace proti Slunci, aby byly články v ohnisku čoček. Proto tyto články jsou vhodné v oblastech, kde je přímé sluneční záření a málo oblačnosti. Důležitým parametrem těchto zařízení je koncentrace (c), což je poměr intenzity záření, které na koncentrátor dopadá a intenzity, která z něj vystupuje. [33]

3.3.1 Fresnelova čočka

Jedním z druhů koncentrátorů jsou Fresnelovy čočky. Tuto čočku vynalezl Augustin Jean Fresnel v roce 1822. Výhodou této čočky je, že oproti běžné čočce má při stejných optických parametrech menší hmotnost. Dokážou zvýšit koncentraci až 500x.



Obr. 16 - Znázornění běžné a Fresnelovy čočky [33]

Jejich nevýhody jsou, že tyto čočky fungují pouze při přímém slunečním záření, proto je nutné je orientovat stále proti Slunci. Další nevýhoda je že koncentrují mnoho světla a články se poté příliš zahřívají. Tato nevýhoda je řešena měděnou destičkou pro odvod tepla. [33]

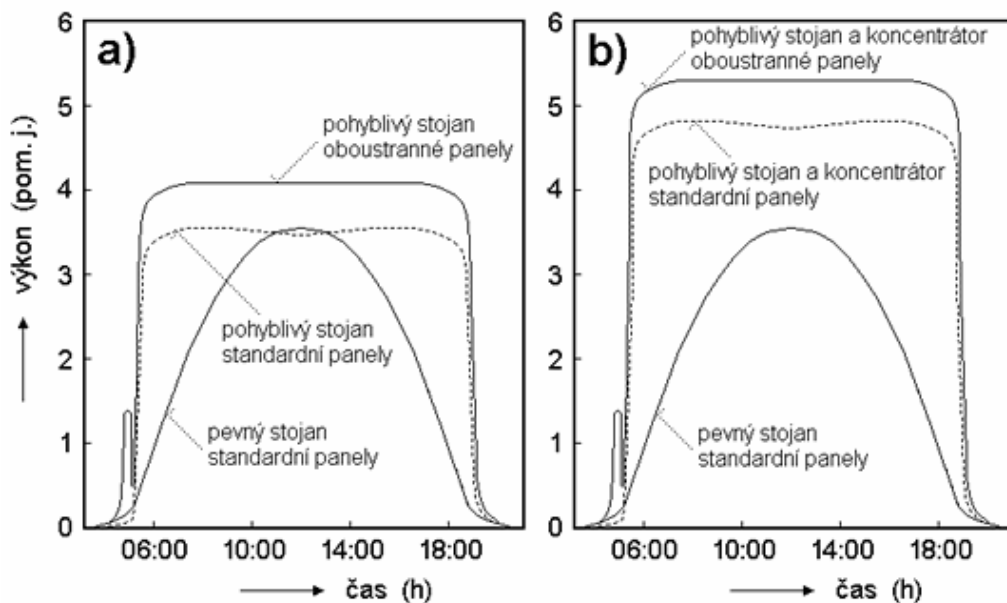


Obr. 17 - Fotovoltaický panel s koncentrátorem z Fresnelových čoček [34]

3.3.2 Oboustranné fotovoltaické panely

Další možnost pro zvýšení účinnosti je použití oboustranného (bifaciálního) fotovoltaického panelu z krystalického křemíku, jehož konstrukce je stejná jako u jednostranného, s tím rozdílem, že mají tyto panely zadní průhledné sklo a zadní kontakty mají tvar mřížky. Díky tomu panely dokážou využít odražené záření od okolního terénu, přičemž se zvýší množství vyrobené energie přibližně o 10-15%. Velmi záleží na odrazivosti povrchu, kde např. sníh a křemenný písek mají odrazivost vysokou.

Jak je uvedeno již dříve, krystalický křemík propouští fotony o vlnové délce větší než $1,1\mu\text{m}$, což způsobí snížení teploty oproti panelům jednostranným. Při použití mírného koncentrátoru ($c=1,6 - 1,7$) jsou teploty přibližně o $5-12^\circ\text{C}$ menší a díky tomu lze navýšit výrobu elektrické energie o 3-5%. Další výhodou je že snížená teplota prodlužuje životnost fotovoltaických panelů.

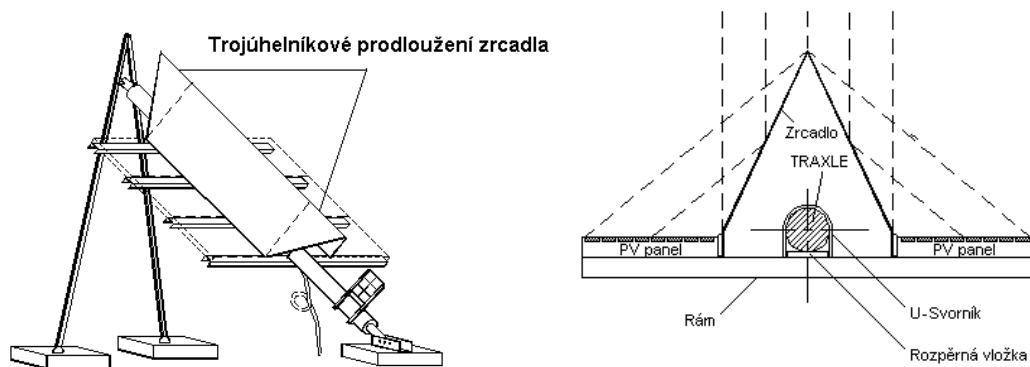


Obr. 18 - Závislost okamžitého výkonu v průběhu letního dne a) systém bez koncentrátoru b) s koncentrátorem [16]

Na obr. 18 můžeme vidět že oboustranné panely s pohyblivým stojanem a hřebenovým koncentrátorem dokážou vyrobit téměř dvojnásobek energie (Austrálie, Afrika), ve středoevropských zemích se zvýšení vyrobené energie pohybuje kolem 70%. Dále vidíme že množství vyrobené energie u oboustranných panelů s hřebenovým koncentrátorem je o 10-20% větší než u systémů s panelem jednostranným. [16]

3.3.3 Super Traxle

Pro ještě větší zvýšení účinnosti lze sledovací systém TRAXLE zkombinovat s přídatnými zrcadly. Dříve se používaly tzv. V - koncentrátory, které byly kvůli nevýhodám nahrazeny koncentrátory hřebenovými s mírnou koncentrací ($C=1,6$), u kterých byla odstraněna postranní zrcadla. Tím se snížilo přehřívání panelů. Trojúhelníkové prodloužení zrcadla, které je na *Obr. 8* je nutné pouze pro jednoosé sledovače, aby bylo zajištěno homogenní osvětlení panelů i při změně polohy slunce při různém ročním období.



Obr. 19 - Systém TRAXLE s hřebenovým koncentrátorem - prodloužení zrcadel (vlevo), příčný řez (vpravo) [35]

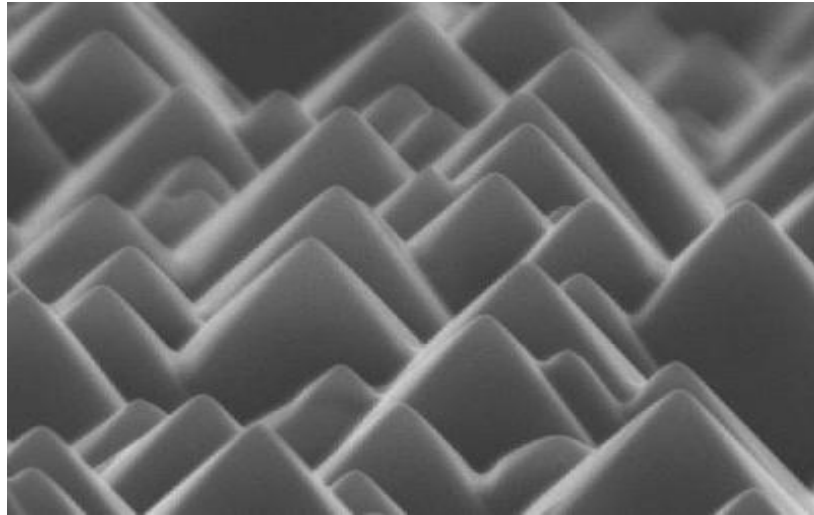
Zrcadla používané pro tyto systémy jsou celkem levná, ale musí mít vysokou odrazivost pro fotony s vlnovými délkami $\lambda=300-1100\text{nm}$ a musí být odolné proti nárazům větru. Tyto zrcadla se vyrábí z válcových plechů nerezavějící oceli, z válcovaného hliníkového plechu chráněného polymerní vrstvou PVF a z akrylátové fólie pokryté hliníkem nebo stříbrem. [16, 35]



Obr. 20 - Sledovací systémy TRAXLE bez hřebenového koncentrátoru (vlevo), s hřebenovým koncentrátorem (vpravo) [16, 39]

3.4 Antireflexní vrstva

Křemík je lesklý materiál, který odráží přes 30% dopadajícího světlo. Proto je potřeba pro zvýšení účinnosti tuto odrazivost zmenšit. Jedna z možností je, že za pomoci chemického leptání se vytvoří texturovaný povrch (*Obr. 17*), které paprsky při jeho dopadu usměrní tak aby bylo znovu využito. Jako další možnost je vrstva SiO_2 , která sníží odrazivost. Antireflexní vrstva má asi 80nm, zbarvuje článek do modra a chrání ho také před mechanickým poškozením. [36]



Obr. 21 - Texturovaný povrch za pomoci leptání [36]

4 Porovnání možností zvýšení účinnosti z hlediska materiálů

4.1 Rozdíly mezi první a druhou generací fotovoltaických článků

4.1.1 První generace

Články první generace jsou vyrobeny z krystalického křemíku. Monokrystalické články jsou pomalu vytahovány z roztavené křemíkové hmoty a články polykrystalické jsou vytvářeny lisováním. Na kontakty těchto článků se nejčastěji používá pasta obsahující hliník a stříbro. [7]

4.1.2 Druhá generace

Materiály u článků druhé generace se dají rozdělit do tři skupin. V první skupině jsou polovodičové materiály, amorfni hydrogenizovaný křemík (a-Si:H), měď-indium-galium-diselenid (CIGS) a kadmium-tellur (CdTe). Druhá skupina jsou materiály, nejčastěji oxid zinečnatý dotovaný hliníkem nebo galiem (ZnO:Al, ZnO:Ga), používané na kontakty. V poslední skupině jsou materiály, nejčastěji sklo a plastové fólie, používané pro substráty. [7]

4.2 Porovnání jednotlivých typů článků

V dnešní době se trh s fotovoltaickými panely rozrůstá velice rychle a proto se zavedly standardní testovací podmínky (STC - záření 1000W/m², teplota článku 25°C, množství vzduchu AM1,5). Podle těchto podmínek porovnám některé zástupce panelů podle materiálu. Na trhu mají největší zastoupení články z monokrystalického nebo polykrystalického křemíku.

Porovnání účinností fotovoltaických článků:

Technologie	Tenkovrstvé				Krystalické	
	Amorfni Si	CdTe	CIS	Mikro Si	Monokrystalický Si	Polykrystalický Si
Účinnost za STC	6-7%	8-10%	10-11%	8%	16-17%	14-15%
Potřebná plocha pro kWp [m ²]	15	11	10	12	7	8

Jednotka kWp určuje výkon fotovoltaického článku za STC v bodě maximálního výkonu. U monokrystalických a polykrystalických článků se průměrná hodnota vyrobené energie za rok v ČR pohybuje přibližně od 800 - 1100kWh/kWp (cca 7-8m²). Při použití jednoosého

sledovače Slunce je tento výkon cca o 10% větší a při dvouosém sledovači o 15-20%. Články na bázi CIS dosahují podobného výkonu jako referenční hodnota. U technologií na bázi amorfního křemíku potřebujeme pro stejný výkon přibližně dvojnásobnou plochu.

Monokrystalické fotovoltaické panely:

<i>Typ</i>	<i>LPM - 230 - 6S</i>	<i>Sunset AS90</i>	<i>JC190S-24/Db</i>	<i>Solarwatt M220 GET LK</i>
<i>Max. výkon</i>	<i>230W</i>	<i>90W</i>	<i>190W</i>	<i>220W</i>
<i>Plocha</i>	<i>1629 x 989mm</i>	<i>1302 x 416mm</i>	<i>1580 x 800mm</i>	<i>1674 x 984 mm</i>
<i>Účinnost</i>	<i>14,84%</i>	<i>14% - 15%</i>	<i>14,9%</i>	<i>Cca 17%</i>
<i>Napětí naprázdno</i>	<i>36,75V</i>	<i>20,3V</i>	<i>44,9V</i>	<i>36V</i>
<i>Zkratový proud</i>	<i>8,46A</i>	<i>5,65A</i>	<i>5,49A</i>	<i>8,25A</i>
<i>Optimální napětí</i>	<i>29,19V</i>	<i>17,05V</i>	<i>36,6V</i>	<i>28,6V</i>
<i>Optimální proud</i>	<i>7,88A</i>	<i>5,25A</i>	<i>5,19A</i>	<i>7,71A</i>

Monokrystalické fotovoltaické panely jsou vhodné především pro oblasti s přímým slunečním zářením, proto je vhodné používat sledovače pro stálou orientaci proti Slunci.

Polykrystalické fotovoltaické panely:

<i>Typ</i>	<i>JC250M-24/Bd</i>	<i>Solarwatt P220 GET LK</i>	<i>SolarBayerr YZM 230P</i>	<i>KD 210 GH-2PU</i>
<i>Max. výkon</i>	<i>250W</i>	<i>220W</i>	<i>230W</i>	<i>210W</i>
<i>Plocha</i>	<i>1640 x 992</i>	<i>1674 x 984 mm</i>	<i>1650 x 992 mm</i>	<i>1500 x 990 mm</i>
<i>Účinnost</i>	<i>15,4%</i>	<i>Cca 14%</i>	<i>Cca 14%</i>	<i>Cca 16%</i>
<i>Napětí naprázdno</i>	<i>37,4V</i>	<i>36,6V</i>	<i>36,6V</i>	<i>33,2V</i>
<i>Proud nakrátko</i>	<i>8,83A</i>	<i>8,3A</i>	<i>8,42A</i>	<i>6,98A</i>
<i>Optimální napětí</i>	<i>30,1V</i>	<i>28,4V</i>	<i>29,5V</i>	<i>26,6V</i>
<i>Optimální proud</i>	<i>8,31A</i>	<i>7,76A</i>	<i>7,8A</i>	<i>7,9A</i>

Polykrystalické fotovoltaické panely mají podobnou účinnost jako monokrystalické. Jsou vhodné pro oblasti, kde je difúzní záření, protože jejich výkon při tomto záření klesá pomaleji než u článků monokrystalických. Jsou taktéž vhodné pro systémy sledování Slunce.

Amorfní fotovoltaické panely:

<i>Typ</i>	<i>TPS113 - 40W</i>	<i>EVALON V-Solar 204</i>	<i>Schott Solar ASI-F 32</i>	<i>MPE 100 BL 01</i>
<i>Max. výkon</i>	<i>40W</i>	<i>204W</i>	<i>32W</i>	<i>100W</i>
<i>Plocha</i>	<i>1253 x 643 mm</i>	<i>1185 x 2850mm</i>	<i>1005 x 605 mm</i>	<i>1900 x 1100 mm</i>
<i>Účinnost</i>	<i>Cca 8%</i>	<i>Cca 8%</i>	<i>Cca 8%</i>	<i>Cca 7%</i>
<i>Napětí naprázdno</i>	<i>29V</i>	<i>69,3V</i>	<i>22,8V</i>	<i>139V</i>
<i>Proud nakrátko</i>	<i>2,3A</i>	<i>5,1A</i>	<i>2,5A</i>	<i>1,19A</i>
<i>Optimální napětí</i>	<i>18V</i>	<i>49,5V</i>	<i>16,8V</i>	<i>105V</i>
<i>Optimální proud</i>	<i>2A</i>	<i>4,13A</i>	<i>1,92A</i>	<i>0,96A</i>

Amorfní fotovoltaické panely mají oproti monokrystalickému a polykrystalickým přibližně 2x menší účinnost, proto pro stejný výkon potřebují dvojnásobnou plochu. Ovšem jejich celoroční zisk je vyšší, protože jsou vhodné i při nižších intenzitách slunečního záření.

5 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vypracovat možnosti zvyšování účinnosti fotovoltaických systémů. V posledních letech se fotovoltaika rozvíjí velmi rychle. První část mé práce je zaměřena na vznik, rozdělení a využívání slunečního záření dopadajícího na zemský povrch.

Ve druhé části práce jsem se zaměřil na popis principu fotovoltaického článku a rozdělení jednotlivých článků do tří generací. V dnešní době mají na trhu největší zastoupení monokrystalické a polykrystalické křemíkové články, což jsou články první generace. Jelikož vývoj jde stále dopředu, tak by v blízké době tyto články první generace mohly nahradit články tenkovrstvé, které mají menší spotřebu materiálu a jsou výrobně jednodušší, nebo články vícevrstvé řazené do třetí generace. Součástí třetí generace jsou také články organické nebo na základě kvantových struktur, ovšem jejich účinnost je velmi malá a jsou ve vývojové fázi.

Třetí část této práce se zaměřuje na zvýšení účinnosti fotovoltaických systémů, protože fotovoltaické články nepřesahují účinnost 20%. Toho lze dosáhnout mnoha způsoby. Jedním ze způsobů je umístění fotovoltaických panelů směrem na jih, nebo jejich natáčení v průběhu dne podle polohy Slunce na obloze různými typy sledovačů. Jako další způsob lze použít koncentrátoři (Fresnelovy čočky nebo zrcadla), které zvýší intenzitu dopadajícího záření na panely. Koncentrátoři jsou ekonomicky náročnější a využitelné v oblastech s přímým slunečním zářením a malou oblačností, proto nejsou vhodné pro podmínky ve střední Evropě.

Poslední část mé práce je zaměřena na porovnání jednotlivých typů panelů z hlediska materiálů. Jednotlivé typy panelů jsem porovnal podle zavedených standardizovaných podmínek STC. Na závěr lze říci, že při stálém vývoji je se fotovoltaika může do budoucna považovat za perspektivní zdroj elektrické energie.

6 Seznam použitých zdrojů

- [1] Encyklopedie fyziky [online]. Infračervené záření. Dostupné z WWW: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/529-infracervene-zareni>
- [2] Encyklopedie fyziky [online]. Záření absolutně černého tělesa. Dostupné z WWW: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/print/719-zareni-absolute-cerneho-telesa>
- [3] Solární energie [online]. Dostupné z WWW: <http://www.solarni-energie.info/informace.php>
- [4] Česká televize [online]. Dostupné z WWW: <http://www.ceskatelevize.cz/porady/10391317150-vesmir/212382553450027-mlhoviny/>
- [5] Czech renewable energy Agency [online]. Dostupné z WWW: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika>
- [6] Ing. Hana Benešová, prof. Ing. Jan Škorpil, CSc., Analysis of Similarities and Differences between Photovoltaic 1st and 2nd Generation - Fakulta elektrotechnická, Katedra elektroenergetiky a ekologie [2011], Plzeň
- [7] Ing. Hana Benešová, prof. Ing. Jan Škorpil, CSc., Analysis of Tandem Photovoltaic Cells - Fakulta elektrotechnická, Katedra elektroenergetiky a ekologie [2010], Plzeň
- [8] Fotovoltaika [online]. Fotovoltaický panel. Dostupné z WWW: <http://fotovoltaika.falconis.cz/fotovoltaika/fotovoltaicky-panel.php>
- [9] Fyzikální ústav [online]. Přeměna sluneční energie v energii elektrickou. Dostupné z WWW: <http://www.fzu.cz/popularizace/premena-slunecni-energie-v-energii-elektrickou>
- [10] Solární elektrárny [online]. Jak funguje křemíkový fotovoltaický článek. Dostupné z WWW: <http://solarnielektrarny.webnode.cz/news/jak-funguje-kremikovy-fotovoltaicky-clanek/>
- [11] Fotovoltaika v dopravě [online]. Vývoj fotovoltaiky. Dostupné z WWW: <http://projekt150.ha-vel.cz/node/136>
- [12] Za odbornými znalostmi evropsky a interaktivně [online]. Princip FV článku. Dostupné z WWW: <http://zoei.sssebrno.cz/fotovoltaicke-clanky/>
- [13] Technická zařízení budov [online]. Amorfni křemíkové články. Dostupné z WWW: <http://www.tzb-info.cz/4251-pruzne-fotovoltaicke-moduly-ano-ci-ne>

- [14] Maxisun [online]. Amorfní křemíkové články. Dostupné z WWW: <http://www.maxisun.cz/clanky/amorfni-kremik-technologie-ktera-nepravem-stoji-opomenuta-v-koute>
- [15] Technická zařízení budov [online]. Třetí generace článků. Dostupné z WWW: <http://www.tzb-info.cz/3506-fotovoltaika-druhe-a-treti-generace>
- [16] Technická zařízení budov [online]. Oboustranné panely. Dostupné z WWW: <http://www.tzb-info.cz/3542-vysoce-ucinne-fotovoltaicke-systemy-s-trackery-a-koncentratory-zareni>
- [17] Fotovoltaické systémy a součástky [online]. Systém Traxle. Dostupné z WWW: <http://www.pvpumps.com/sledovac.htm>
- [18] Fyzmatik [online]. Vývoj FV článků. Dostupné z WWW: <http://fyzmatik.pise.cz/303-vyvoj-ucinnosti-fotovoltaickych-panelu.html>
- [19] Solareni [online]. Amorfní krystalický křemík. Dostupné z WWW: <http://www.solareni.cz/slunecni-elektrarny/technicke-informace/alternativni-technologie-amorfni-kremik/>
- [20] Switchkingston [online]. Jednoosé sledovače. Dostupné z WWW: <http://switchkingston.ca/wiki/doku.php?id=tracker>
- [21] Ontario solar farms [online]. Dvouosé sledovače. Dostupné z WWW: <http://www.ontariosolarfarms.com/ground-mounted-solar.html>
- [22] Sedona solar technology [online]. Dvouosé sledovače. Dostupné z WWW: <http://sedonasolartechnology.com/types-of-mounting-systems/>
- [23] Solar choice [online]. Jednoosé a dvouosé sledovače. Dostupné z WWW: <http://www.solarchoice.net.au/blog/solar-trackers/>
- [24] Conrad [online]. Typy FV panelů. Dostupné z WWW: <http://www.conrad.cz/tenkovrstve-solarni-moduly.c0509083>
- [25] Glasspo [online]. Typy FV článků. Dostupné z WWW: <http://www.glasspo.cz/bifacialni-panely.php>
- [26] Rensola [online]. Typy FV článků. Dostupné z WWW: <http://www.rensola.com/>
- [27] Sunnypower [online]. Solární panely. Dostupné z WWW: <http://www.sunnypower.cz/cs/fotovoltaika/zakladni-komponenty>
- [28] Aldebaran [online]. Organické články. Dostupné z WWW: http://www.aldebaran.cz/bulletin/2007_30_org.php

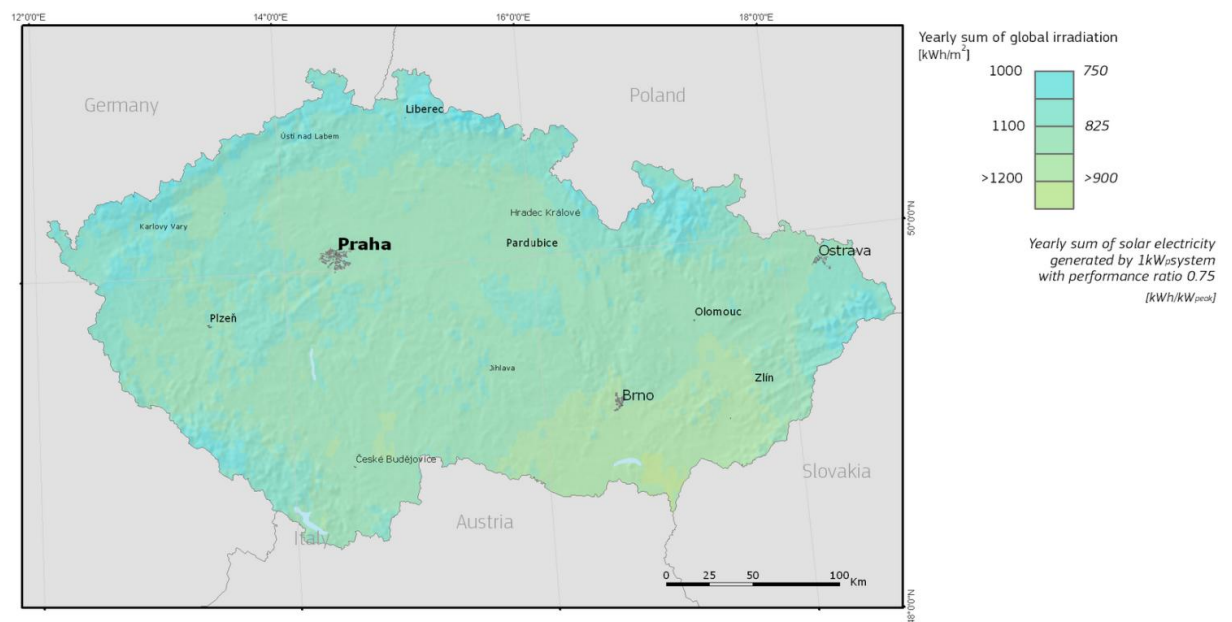
- [29] Wind Sun [online]. Horizontální jednoosý sledovač. Dostupné z WWW:
<http://www.wind-sun.com/ForumVB/showthread.php?16931-Solar-tracking-diy>
- [30] Cleantick [online]. Horizontální jednoosý sledovač. Dostupné z WWW:
<http://www.cleantick.com/users/vinaytakbhanu/pages/solar-tracker>
- [31] Solar tracking [online]. Dvouosý sledovač. Dostupné z WWW:
<http://www.solar-tracking.it/>
- [32] The solar specialists [online]. Dvouosý sledovač. Dostupné z WWW:
<http://www.thesolarspecialists.com/gallery/3-6-kw-dual-axis-tracker-solar-system-in-waterbury-center-vermont/>
- [33] Encyklopedie Fyziky [online]. Fresnelova čočka. Dostupné z WWW:
<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1534-fresnelova-cocka>
- [34] Optics [online]. FV panel z fresnelových čoček. Dostupné z WWW:
<http://optics.org/news/1/6/23/amonixhenderson1>
- [35] Fotovoltaické systémy a součástky [online]. Hřebenový koncentrátor. Dostupné z WWW: <http://www.pvpumps.com/koncentr.htm>
- [36] CEZ [online]. Antireflexní vrstva. Dostupné z WWW:
<http://www.cez.cz/edec/content/microsites/solarni/k41.htm>
- [37] Alpine solar electric [online]. Dvouosý sledovač. Dostupný z WWW:
<http://alpinesolarelectric.com/Gallery.php>
- [38] Encyklopedie Fyziky [online]. Ultrafialové záření. Dostupné z WWW:
<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/531-ultrafialove-zareni>
- [39] Fotovoltaické systémy [online]. Hřebenový koncentrátor. Dostupné z WWW:
<http://www.solar-solar.com/default.asp?p=client-references&lang=cz&galid=8>
- [40] AM Solar [online]. STC Dostupné z WWW:
http://www.amsolar.com/home/amr/page_164
- [41] Czech renewable energy agency [online]. Fotovoltaika. Dostupné z WWW:
<http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika/faq>
- [42] Joint research centre [online]. Dopad slunečního záření. Dostupné z WWW:
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eur.htm>
- [43] Silektro [online]. Fotovoltaická elektrárna Vepřek. Dostupné z WWW:
<http://www.silektro.cz/solarni-elektrarny/servisni-reference-31>

- [44] Nobesol [online]. Fotovoltaická elektrárna Olmedilla de Alarcón. Dostupné z WWW: <http://www.nobesol.com/?seccion=4&subseccion=2&contenido=40>

7 Přílohy



Obr. 22 - Dopad slunečního záření při optimálním natočení FV panelů [42]



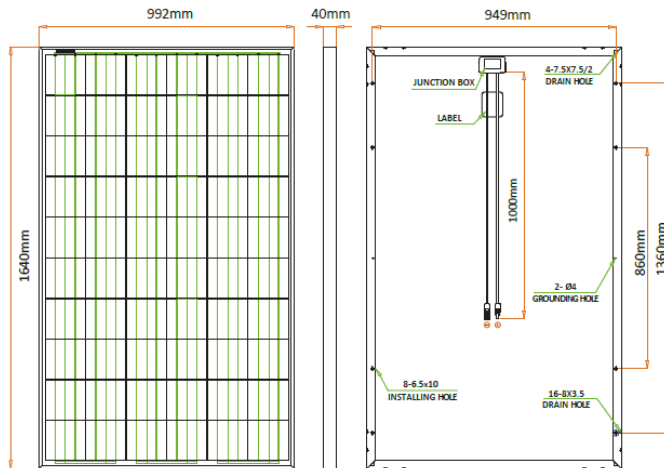
Obr. 23 - Dopad slunečního záření při horizontálním natočení FV panelů [42]



Virtus® II Module

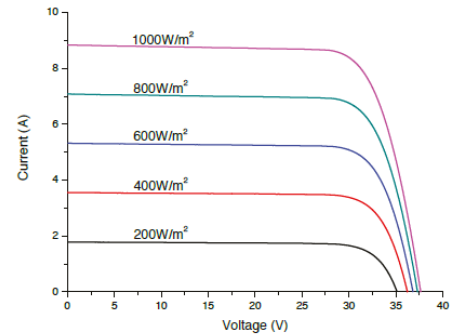
250W, 255W, 260W

Dimensions



Drawing Only for Reference

I-V Curves



Varied Irradiation Efficiencies

Irradiance	200W/m ²	400W/m ²	600W/m ²	800W/m ²	1000W/m ²
Efficiency	15.8%	16.2%	16.2%	16.1%	16.0%

Electrical Characteristics STC

	JC250M-24/Bb	JC255M-24/Bb	JC260M-24/Bb
Maximum Power (Pmax)	250 W	255 W	260 W
Power Tolerance	0 ~ +5W	0 ~ +5W	0 ~ +5W
Module Efficiency	15.4%	15.7%	16.0%
Maximum Power Current (Imp)	8.31 A	8.39 A	8.53 A
Maximum Power Voltage (Vmp)	30.1 V	30.4 V	30.5 V
Short Circuit Current (Isc)	8.83 A	8.86 A	8.95 A
Open Circuit Voltage (Voc)	37.4 V	37.5 V	37.6 V

Values at Standard Test Conditions (Air Mass AM1.5, Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C)

Electrical Characteristics NOCT

	JC250M-24/Bb	JC255M-24/Bb	JC260M-24/Bb
Maximum Power (Pmax)	185 W	189 W	193 W
Maximum Power Current (Imp)	6.57 A	6.63 A	6.74 A
Maximum Power Voltage (Vmp)	28.2 V	28.5 V	28.6 V
Short Circuit Current (Isc)	7.12 A	7.20 A	7.27 A
Open Circuit Voltage (Voc)	35.0 V	35.1 V	35.2 V

Values at Normal Operating Cell Temperature, Irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s

Mechanical Characteristics

Cell Type	Virtus II (Polycrystalline) 156 x156 mm, 60 (6x10) pcs in series
Glass	High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminum Alloy
Junction Box	IP65/IP67 rated, with bypass diodes
Dimension	*1640 x 992 x 40 mm
Output Cable	4 mm ² (EU)/12 AWG (US), 1000 mm
Weight	18.5 Kg
Installation Hole Location	See Drawing Above

Characteristics

Temperature Coefficient of Voc	-0.30%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.04%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.40%/°C
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C±2°C

Packing Information

Container	20' GP	40' GP	40' HQ
Pallets per Container	12	28	28
Pieces per Container	300	700	770

Rev No: JG/TDS/2013.02 *Contact ReneSola for tolerance specification
CAUTION: All rights reserved. Design and specification are subject to change without prior notice.

Maximum Ratings

Operating Temperature	-40°C ~ +85°C
Maximum System Voltage	1000VDC (EU) / 600VDC (US)
Maximum Series Fuse Rating	20A (EU) / 20A (US)

Obr. 24 - Polykrystalické články ReneSola 250W - 260W [26]



Obr. 25 - Fotovoltaická elektrárna Vepřek [43]



Obrázek 26 - Fotovoltaická elektrárna Olmedilla de Alarcón ve Španělsku [44]