

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Koncentrované fotovoltaické systémy

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan SKŘIVAN**
Osobní číslo: **E12B0151P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Koncentrované fotovoltaické systémy**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

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

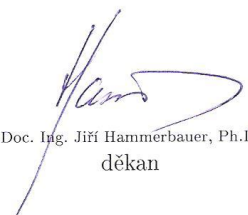
1. Seznamte se s problematikou získávání energie pomocí fotovoltaických systémů, zaměřte se především na koncentrované fotovoltaické systémy.
2. Proveďte rešerši komerčně dostupných koncentrovaných fotovoltaických systémů.
3. Dle zadaných parametrů navrhnete optimální řešení pro získávání energie pomocí koncentrovaných fotovoltaických článků.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

1. Internetové zdroje.
2. Practical handbook of photovoltaics: fundamentals and applications. 2nd ed. Editor A McEvoy, T Markvart, Luis Casta?er Mu?oz. Waltham: Academic Press, c2012, xxiv, 1244 s. ISBN 978-0-12-385934-1.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Karel Hromadka
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2014
Termín odevzdání bakalářské práce: 8. června 2015


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




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na koncentrované fotovoltaické systémy. První část je teoretická a zabývá se obecnými vlastnostmi a srovnání fotovoltaických systémů. V druhé části je ucelený přehled všech komerčně dostupných fotovoltaických systémů a poslední bod práce je zaměřen na optimální řešení získávání energie z koncentrovaných fotovoltaických článků.

Klíčová slova

Obnovitelné zdroje, koncentrované fotovoltaické systémy, CPV, fotovoltaický panel.

Abstract

This bachelor thesis is focused on concentrated photovoltaic systems. The first part is theoretical and deals with common characteristics and comparison of photovoltaic systems. The second part is a comprehensive overview of all commercially available photovoltaic systems, and the last point of the work is focused on the optimal solution for obtaining energy from concentrated photovoltaic cells.

Key words

Renewable resources, concentrated photovoltaic systems, CPV, photovoltaic panel.

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 5.6.2015

Jan Skřivan

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Karlovi Hromadkovi, za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY.....	11
1.1 FUNKCE FV ČLÁNKU	11
1.2 ZPŮSOBY ZÍSKÁVÁNÍ SOLÁRNÍ ENERGIE	12
1.3 KŘEMÍKOVÉ FV PANELY	12
1.4 KONCENTROVANÉ FV PANELY	14
1.5 JEDNOTLIVÉ ČÁSTI FOTOVOLTAICKÉ VÝROBNY	16
1.6 NOSNÉ KONSTRUKCE	17
1.7 CHLADÍCÍ MÉDIA	19
2 KOMERČNĚ DOSTUPNÉ KONCENTROVANÉ FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY.....	21
2.1 SROVNÁNÍ KŘEMÍKOVÉ VÝROBNY S KONCENTROVANOU FOTOVOLTAICKOU VÝROBNOU	21
2.2 PARAMETRY KONCENTROVANÝCH FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ.....	23
2.3 POŘIZOVACÍ NÁKLADY JEDNOTLIVÝCH PANELŮ	32
3 OPTIMÁLNÍ ŘEŠENÍ ZÍSKÁVÁNÍ ENERGIE Z KONCENTROVANÝCH FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ	33
3.1 OPTIMÁLNÍ PROSTŘEDÍ PRO VYUŽITÍ KONCENTROVANÝCH FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ.....	33
3.2 NÁVRATNOST	36
ZÁVĚR	40

Seznam symbolů a zkratk

CPV	Koncentrovaná fotovoltaika
FV	Fotovoltaika
SOG	Křemík na sklo
W_p	Nominální hodnota výkonu
P	Výkon
Wh/m^2	Hustota energie slunečního záření

Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá především problematikou koncentrovaných fotovoltaických systémů. Na úvod je uvedeno krátké připomenutí historie vývoje a využití fotovoltaiky a osobností podílejících se na tomto vývoji.

První zmínka o fotovoltaickém jevu je z roku 1839 a za jeho objevením stojí Antonie Edmond Becquerel. [1] A. E. Becquerel se narodil v Paříži 24. března roku 1820. Byl žákem svého otce a mnoho jeho bádání jím bylo ovlivněno. A. E. Becquerel však zkoumal hlavně fosforenci a luminiscenci. Fotovoltaický článek byl sestaven až v roce 1884 vynálezcem Charlesem Frittssem. Tento článek byl vyroben ze selenidového vodiče a následně potažen velmi tenkou vrstvou zlata. Díky velké ceně a malé účinnosti přibližně 1 % se nijak neuplatnila ve výrobě elektřiny, ale využíval se jako senzor pro určování času expozice snímku ve fotoaparátech až do roku 1960. Czochralskiho metoda je metoda na výrobu monokrystalického křemíku a byla objevena v roce 1916 Janem Czochralskim. Dalším objevitelem zabývajícím se mimo jiné využitím energie slunečního záření byl Albert Einstein, který vysvětlil fotoelektrický jev a byla mu udělena Nobelova cena za fyziku v roce 1921. [2] Russel Ohl v roce 1940 vynalezl solární článek podobný tomu, který známe dnes. Tento solární článek využívá přechodu polovodiče P-N. Polovodiče typu P-N fungují jako hradlo, kdy propouští elektrický proud pouze jedním směrem.

V dalších letech šel vývoj fotovoltaických článků rychle kupředu a začínal se vyskytovat v mnoho aplikacích. Dryl Chapin, Calvin Fuller a Gerald Pearson sestavili v roce 1954 fotovoltaický článek, jehož účinnost byla větší než čtyři procenta. [3] 17. března roku 1958 byly vypuštěny na oběžnou dráhu 3 satelity a to Explorer III, Vanguard II a Sputnik - 3 tyto satelity měly na sobě solární panely. V roce 1960 dosáhnul fotovoltaický článek účinnosti až 14 %. První letadlo s Fotovoltaickým pohonem vzlétlo roku 1981. V roce 1999 přesáhla celosvětově instalovaná kapacita fotovoltaických článků 1000 MW a o tři roky později přesahovala kapacitu dokonce 2000 MW. Koncem roku 2008 se už celosvětová kapacita zvedla na 15 000 MW a přibližně 90 % z této kapacity bylo připojeno do sítě.

V dnešní době se fotovoltaika dostává do mnoha aplikací a je to jedna z nejdostupnějších technologií z obnovitelných zdrojů.

1 Fotovoltaické systémy

1.1 Funkce FV článku

Fotovoltaický článek převádí sluneční energii na energii elektrickou. Tuto vlastnost má několik prvků např. křemík, germanium, sulfid kademnatý a další. [4] Dnes se na výrobu fotovoltaického článku používá především křemík. Tento prvek je jeden z nejrozšířenějších prvků v zemské kůře a zároveň je poměrně levný, snadno dostupný a není nijak toxický. Proto je nejpoužívanějším polovodičovým prvkem. Různými úpravami křemíku se nechá dosáhnout vyšší účinnosti.

Pokud na křemík dopadá sluneční záření, tak má schopnost toto záření absorbovat a dokáže tak zvýšit svou vodivost. Díky této vlastnosti pracuje křemík jako polovodič. Když na něj nedopadá žádné světlo, křemík se chová jako P-N přechod v rovnovážném stavu, kdy přes něj neprochází žádný proud kromě malého difuzního proudu. Tento proud je tvořen minoritními nosiči náboje a je zanedbatelný. [4] [5] Po ozáření slunečním zářením dodají fotony energii elektronu ve valenční vrstvě křemíku. Tyto elektrony se vlivem dodané energie rozkmitají a uvolní se. Poté začnou procházet přes hradlovou (vyprázdněnou) oblast a uvolňují se do vrstvy P. Tokem elektronů vzniká stejnosměrný proud, který je pak odváděn do akumulátoru, do spotřebiče využívajícího DC napájení nebo přes invertor do sítě se střídavým proudem.

Účinnost fotovoltaických článků se liší. Záleží na typu článku, technologii výroby a na jeho provedení. Účinnost křemíkových fotovoltaických článků se v současné době pohybuje okolo 14 %. U článků které využívají princip koncentrované fotovoltaiky se v současné době pohybuje kolem 40 % (což je hranice teoretické účinnosti křemíkového článku) s tím, že teoretický limit účinnosti je na hranici 80 %. [4]

Je důležité si uvědomit, že elektrická energie získávaná ze slunečního záření je ekologická, je všude dostupná a je jí obrovské množství. Přibližně asi 1 % ročního slunečního záření by vystačilo na energetické pokrytí spotřeby celého světa. Bohužel nejsme schopni dosáhnout 100% využití dopadajícího záření, proto jsme limitováni rozsáhlejším využitím. [4] Avšak celosvětově se neustále pracuje na vývoji nových a účinnějších technologií. Samotnou kapitolou ve vývoji využívání energie ze slunce je ukládání elektrické energie a řízení časového sdílení vyrobené energie přenosem z oblastí se slunečním svitem do oblastí bez slunečního

svitu. Především vývoj v oblasti ukládání vyrobené energie v posledních letech výrazně pokročil, ať se jedná o samotnou technologii baterií nebo například vodíkových článků.

1.2 Způsoby získávání solární energie

Existuje více způsobů jak získat elektrickou či tepelnou energii ze slunečního záření než jen pomocí fotovoltaických panelů, které jsou zmíněné v předchozí kapitole. U fotovoltaických článků dochází k přímé přeměně, kdy ze slunečního záření rovnou vzniká elektrický proud. [6] U nepřímé přeměny dochází nejdříve k ohřevu vody a pomocí termoelektrických měničů, např. termočlánků, měníme teplo v energii elektrickou. Termočlánek je složen ze dvou rozdílných kovů, které jsou zapojeny do série a pokud jsou vystaveny rozdílné teplotě, tak na obou spojích těchto dvou kovů vzniká odlišný elektrický potenciál, který zapříčiní vznik elektrického proudu. Účinnost termočlánku je závislá na vlastnostech obou kovů. [6]

Dalším způsobem jak získávat elektrickou energii je přeměna slunečního záření na chemickou složku. Pomocí fotovoltaického článku přeměníme vodu na vodík a kyslík. Pokud oba plyny znovu sloučíme, získáme elektrickou energii, která se uvolní při zpětné reakci vodíku a kyslíku. [6]

Sluneční záření můžeme také použít jako ohříváč vody. Solární panely slouží pouze k ohřátí vody, kdy v okruhu mezi zásobníkem vody a solárním panelem proudí nemrznoucí kapalina, která je panelem ohřívána a proudí do zásobníku s vodou, kterou následně ohřívá.

Existuje mnoho dalších řešení jak využít solární energii např. jako filtraci vody atd.

1.3 Křemíkové FV panely

V současné době existuje několik typů křemíkových fotovoltaických panelů, přičemž každý má svoji oblast využití a své typické vlastnosti.

Nejčastěji používané typy křemíkových fotovoltaických článků jsou tyto:

Monokrystalické: Z křemíkových fotovoltaických panelů jsou monokrystalické panely výrobně nejnáročnější. Zvláštností při výrobě tohoto druhu panelu je, že se krystal křemíku musí vytahovat z taveniny pomalu, aby všechny krystaly měly stejnou orientaci. [4] Jejich

účinnost je však jedna z největších, pohybuje se od čtrnácti do šestnácti procent. [7] Barva těchto panelů je tmavě hnědá až černá a jednotlivé buňky mají tvar osmiúhelníku. Tyto panely musejí být správně natočeny (zpravidla na jih) a musejí být pod správným úhlem, aby byla maximálně využita jejich účinnost. Je možné je připojit na tzv. trackery (polohovací systémy), což jsou zařízení, která se otáčejí za sluncem. Tím je panel stále v dokonalé pozici vůči slunci a je zajištěn jeho maximální výkon. Trackery rozlišujeme na dva typy a to na jednoosé a dvouosé. Jednoosé sledují denní pohyb slunce po obloze bez ohledu na aktuální výšku slunce v závislosti na ročním období. Dvouosé polohovací systémy sledují přesnou polohu slunce na obloze i s ohledem na výšku slunce nad obzorem podle ročního období. Nevýhodou všech křemíkových panelů je však možnost přehřívání. Účinnost článku – panelu se snižuje se zvyšující se teplotou typicky o 0,4 % na 1 °C. [15]

Polykrystalické: Jejich výroba je méně náročná než u článků monokrystalických. Křemíkové granule se roztaví a poté se nechají co nejpomaleji ztuhnout tak, aby se vytvořily co největší nerovnosti na křemíkovém krystalu. Po ztuhnutí je odlitek rozřezán na jednotlivé tenké vrstvy. Tyto vrstvy se dále upravují chemicky nebo plasmou, aby došlo k maximálnímu zvrášení povrchu, dále jsou opatřovány antireflexní vrstvou a kovovou mřížkou s kontakty. Jejich účinnost se pohybuje mezi dvanácti až čtrnácti procenty a to především v závislosti na předchozím zpracování. [7] To je méně než u monokrystalických, ale tyto panely na rozdíl od monokrystalických nemusejí být natočeny přesně ke slunci a jejich účinnost výrazně neklesá, pokud jsou ozařovány z boku. Jsou vhodné na nepohyblivé instalace.

Tenkovrstvé panely (amorfní): Tyto panely nejsou krystalické. Je to způsobeno rozdílnou výrobou těchto panelů. Tenkovrstvé panely se vyrábí pomocí napařování křemíku při vysokých teplotách. Na jejich podklad se nechají použít levnější materiály než u krystalických fotovoltaických panelů. Jejich účinnost je však mnohem menší. Pohybuje se mezi osmi až devíti procenty. Jejich výhodou je tedy cena, ale nevýhodou je malá účinnost. [7]

Hybridní panely: Čtvrtým a zatím ne tak masově využívaným křemíkovým panelem je panel hybridní. (viz. Obr. 1). Použití těchto panelů není zatím rozšířeno především proto, že se jedná o poměrně novou technologii a také proto, že využití těchto panelů má svoje specifika. Aby přednosti tohoto panelu byly řádně využity, je zapotřebí, aby při instalaci byl požadavek kromě výroby elektrické energie také na ohřev vody. Díky tomu můžeme využít i „odpadní“ teplo, které vzniká při ohřevu fotovoltaického panelu, a navíc ochlazováním fotovoltaického

článek zlepšujeme jeho účinnost. Jsou to polykrystalické panely, které ze spodní strany mají vrstvu z hliníku. [8] V této spodní vrstvě je vylisovaný plochý výměník plněný nemrznoucí kapalinou, pomocí něhož je teplo odváděno k využití v hydraulickém systému. Typickou instalací může být rodinný dům, kde je požadavek na výrobu elektrické energie a zároveň i na ohřev teplé vody.



Obr. 1 Hybridní panel [převzato z (8)]

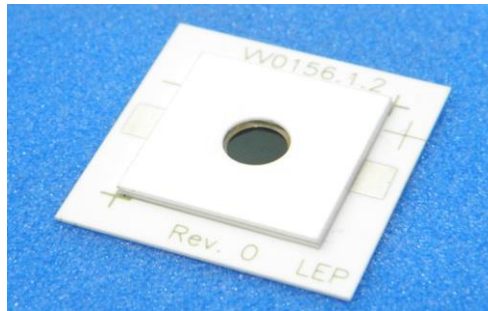
1.4 Koncentrované FV panely

Jak bylo uvedeno v předchozí kapitole, křemíkové fotovoltaické panely mají relativně malou účinnost a to řádově kolem 15 %. Jejich účinnost by mohla být vyšší, ale je limitována teplotou. Čím vyšší teplota tím menší je účinnost článku. Proto se tyto panely nedají použít v klimatických podmínkách, kde je teplota okolí vysoká. U křemíkových panelů je také problematická výroba, jelikož je požadavek na vysokou čistotu křemíku a to je obzvláště energeticky náročné. [9] [10]

Díky tomu se v tomto ohledu pro oblasti s vysokými denními teplotami dostává do popředí koncentrovaná fotovoltaika. Liší se od nekoncentrovaných tím, že sluneční záření je koncentrováno do malé oblasti pomocí optického koncentrátoru, zpravidla optickou spojnou čočkou nebo zrcadlem. Paprsky jsou koncentrovány do oblasti o velikosti od 2 mm² do 10 mm². V ohnisku celé soustavy je pak umístěn malý fotovoltaický čip o tloušťce okolo několika stovek mikrometrů. Tento čip je vyroben většinou na bázi sloučeniny GaAs a případně jiných podobných příměsí, jako je např. InGaP, Ge. Výhodou je rozměr čipu a jeho schopnost využívat a zpracovávat větší světelné spektrum než je tomu u křemíkových fotovoltaických panelů. [10]

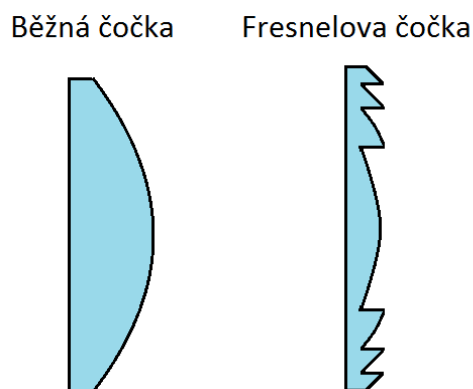
Poměr plochy čočky a plochy čipu určuje hodnotu optické koncentrace. Tato hodnota se pohybuje mezi 200x až 1000x, přičemž pokud je hodnota 500x, tak to znamená, že plocha čočky je 500 krát větší než plocha fotovoltaického čipu.

Účinnost těchto čipů se pohybuje okolo čtyřiceti procent. Pouzdro článku je vyrobeno z pevného materiálu např. z korundové keramiky pro zajištění co nejlepší ochrany čipu v jakémkoliv natočení. Čip je hermeticky uzavřen, aby k němu nepronikla žádná vlhkost, která by mohla čip poškodit a jeho účinnost a životnost by tím v závislosti na čase rapidně klesala. Teplotní závislost koncentrovaných fotovoltaických čipu je okolo $-0,17\% / ^\circ\text{C}$, to je přibližně třikrát méně než u křemíkových fotovoltaických čipů. [10]



Obr. 2 čip koncentrované fotovoltaiky [převzato z (28)]

Jako optická čočka se zde nepoužívá klasická dvojbypuklá čočka, ale zpravidla tzv. Fresnelova čočka. [11] Tato čočka má jiný tvar a menší hmotnost. Z klasické dvojbypuklé čočky si zachovala pouze části, na které dochází k lomu světla a tím i k jeho větší koncentraci světla. Fresnelovy čočky pro koncentrovanou fotovoltaiku se vyrábí pomocí technologie SOG (silicon on glass). Tato technologie je levná a čočky vydrží déle. [10]



Obr. 3 Porovnání běžné a Fresnelovy čočky

Jak již bylo řečeno úvodem, koncentrovaná fotovoltaika má vyšší účinnost než klasická křemíková fotovoltaika a její teplotní závislost je tedy také mnohem nižší. Články koncentrované fotovoltaiky jsou vysoce odolné a často se používají v kosmické technologii.

Koncentrovaná fotovoltaika však musí být neustále natočena na zdroj slunečního záření. K tomuto otočení se používají tzv. trackery.

Pro koncentrovanou fotovoltaiku je reálné použití pouze dvouosých trackerů. Dokonce pokud slunce zajde za mrak, tyto trackery musejí mít předem vypočtenou dráhu a rychlost kudy se budou pohybovat, aby byly stále ve správné pozici a nedošlo k přerušení. Panely nepracují, pokud je před nimi překážka nebo pokud je špatné počasí (zataženo, déšť, sníh atd.). Jsou velmi citlivé na jakoukoliv výchylku způsobenou např. větrem. Pokud dochází k nárazům větru, elektrický výkon kolísá. Tyto panely jsou vyrobeny z nehořlavých materiálů, čímž je zaručena maximální bezpečnost oproti křemíkovým, které hoří poměrně dobře. [10]

Cena těchto panelů je vysoká a navíc tyto panely také potřebují trackery, které na ceně celkového systému přidávají. [9] Proto nejsou vhodné pro běžné instalace, ale s úspěchem se využívají v oblastech s horkým podnebím, kde je malá oblačnost.

1.5 Jednotlivé části fotovoltaické výroby

Každá fotovoltaická výrobná (elektrárna) musí mít zdroj elektrické energie. Tímto zdrojem je fotovoltaický panel. Fotovoltaické panely mohou být různé a podle typu se poté určují jejich vlastnosti. [13] Typy panelů mohou být monokrystalické, polykrystalické, tenkovrstvé a koncentrované. Panely se mohou spojovat buď paralelně anebo sériově v závislosti na požadavcích.

Fotovoltaická výrobná se skládá z jednotlivých panelů, jejichž počet závisí na požadovaném výkonu výroby. Různé typy panelů mají různý výkon a účinnost, proto je důležité používat v jednom celkovém zapojení jeden typ panelu. Panely se mezi sebou propojují do tzv. stringu. Znamená to, že na jednom stringu je určitý počet panelů. Kabely, které se používají pro propojení, jsou dvoužilové s dvojitou izolací. Průřezy kabelů jsou od 2,5 mm² do 25 mm² a jejich životnost se pohybuje okolo třiceti let. [12] Panely mohou být zapojeny sériově, paralelně nebo sérioparalelně, podle toho, jakých elektrických hodnot potřebujeme dosáhnout na výstupu. Když zapojíme panely sériově, proud v obvodu bude všude stejný a napětí bude s každým panelem vzrůstat. Pokud zapojíme panely paralelně, napětí na výstupu, bude dáno napětím panelu, ale proud s každým dalším panelem vzroste. V sérioparalelním spojení spojujeme několik řad, které jsou zapojeny samostatně do série a všechny tyto řady jsou spojeny mezi sebou paralelně tzn., že výstupy všech řad s plusem, jsou propojeny mezi sebou a na druhé

straně jsou propojeny všechny výstupy s mínusem. U sérioparalelního zapojení musí mít všechny řady v sérii stejný počet panelů. Nejčastěji se používá sériové zapojení panelů. [14]

Podle počtu panelů se rozděluje elektrárna na jednotlivé řetězce (stringy). Řetězce se musejí rozpočítat tak, aby se později nechaly připojit do střídače. V praxi to znamená, že výsledný součet napětí jednotlivých panelů sériově zapojených do stringu se musí rovnat vstupnímu napětí pro daný vstup střídače. Každý řetězec (string) má své označení.

Jelikož fotovoltaické elektrárny vyrábějí stejnosměrný proud a je známo, že v síti je střídavý proud, je nutné, aby fotovoltaická elektrárna měla zajištěný převod stejnosměrného proudu na proud střídavý. K tomuto účelu slouží tzv. střídače, které zároveň chrání celý systém před přetížením, zároveň monitorují frekvenci sítě a jsou schopny odpojit výrobní, pokud je třeba takové odpojení zajistit. Odpojení výrobní lze prostřednictvím střídačů zajistit i dálkově například z dispečinku rozvodné soustavy. Vynucené odpojení je nutné především v případech, kdy by mohlo dojít k přetížení distribuční soustavy. Účinnost dnešních střídačů se pohybuje okolo 96 %. [13]

Návrh výrobní se projektuje tak, že vycházíme z požadovaného výkonu výrobní a navrhujeme jednotlivé stringy podle požadovaných elektrických parametrů vyráběných střídačů. Dále provedeme návrh elektrického zapojení a ochranných prvků pro připojení do distribuční soustavy.

V případě, že systém bude používán pouze v tak zvaném ostrovním provozu (bez spojení s distribuční soustavou), bude návrh výrobní jednodušší. Střídače používané pro ostrovní výrobní mají vlastní generátor frekvence na rozdíl od střídačů určených pro provoz paralelně s distribuční soustavou, které naopak sledují frekvenci sítě. [13]

1.6 Nosné konstrukce

Dalším prvkem fotovoltaických výroben jsou nosné konstrukce. Nosné konstrukce se navrhují podle umístění fotovoltaické výrobní. Základní umístění je na konstrukci spojené se zemí a na konstrukci spojené se střechou nebo pláštěm budovy. [12] Instalace výroben na sedlových střechách je vhodná zejména pro rodinné domy a budovy obecně. Tato instalace je vhodná pouze pro křemíkové fotovoltaické panely. Střecha by měla mít sklon přibližně 35 ° a měla by být orientovaná na jih nebo na jihozápad. Nosná konstrukce zde představuje hliníkové

profily, které jsou připevněny na speciální háky. Ty jsou následně připevněny většinou pod taškami domu na dřevěnou konstrukci střechy. Ke konstrukci jsou panely připevněné pomocí speciálních šroubů. Instalace této konstrukce je jednoduchá a je relativně levná. [13]

Další možnou variantou jsou konstrukce na plochých střechách. Zde nemáme k dispozici potřebný sklon 35° , a proto je nutné postavit podkladovou konstrukci tak abychom tento potřebný sklon vytvořili. Tato konstrukce může být např. z pozinkované oceli. Je připevněna ke střeše napevno chemickými kotvami nebo je zatížena betonovými bloky či dlaždicemi. Profily z podkladové konstrukce jsou stavěny do trojúhelníku. Panely musejí být postaveny tak, aby je nemohl zvednout vítr. Na podkladovou konstrukci je připevněn hliníkový profil, který je stejně jako u instalace na sedlových střechách uchycen speciálními šrouby k panelu. Jedná se o nákladnější řešení než u řešení na sedlových střechách. [13]

Konstrukce na volných prostranstvích jsou řešeny podobně jako konstrukce na plochých střechách. Jsou zde stejné podkladné konstrukce a stejné hliníkové profily, které drží panely. Jediný rozdíl je v uchycení do země. Musejí být použity závrtné šrouby nebo betonové základy, do kterých jsou podkladové konstrukce přichyceny nebo zakopeme konstrukce částečně do země. Je zde větší nárok na uchycení, jelikož jsou zde horší povětrnostní podmínky než na plochých střechách. Konstrukce na volných prostranstvích jsou ekonomicky nákladnější než konstrukce na plochých střechách.

Abychom dosáhli lepší účinnosti a dokázali vytěžit maximum elektrické energie, používáme trackery. Jsou to nejsložitější a zároveň nejdražší nosné konstrukce. Polohovatelný systém je zařízení, které umožňuje panelu se otáčet za sluncem, to znamená, že je panel vždy v optimální poloze vůči slunci a to od východu do západu slunce.

Podle základních principů se polohovací systémy mohou dělit na jednoosé a dvouosé a aktivní a pasivní. Jednoosé se pohybují pouze po jedné ose a dvouosé se pohybují ve dvou osách. [15] [16]

Aktivní polohovací systémy jsou především elektrooptické sledovače. Skládají se z páru antiparalelně připojených fotorezistorů nebo fotovoltaických buněk, které jsou připojeny tak, aby na obou prvcích byla stejná intenzita ozáření, tudíž aby byli stejně elektricky vyvážené. Pokud nejsou vyvážené tak se pošle řídicí signál na hnací motor a ten celý systém pootočí tak,

aby na oba sledovače dopadala stejná intenzita ozáření. [15] Tím se dosahuje maximální přesnosti. Jsou používány hlavně pro koncentrované fotovoltaické systémy. Dále se používají systémy, které se otáčejí podle svých předem nastavených hodin, u dvouosých i podle dne v roce nebo kombinace obou systémů. [16]

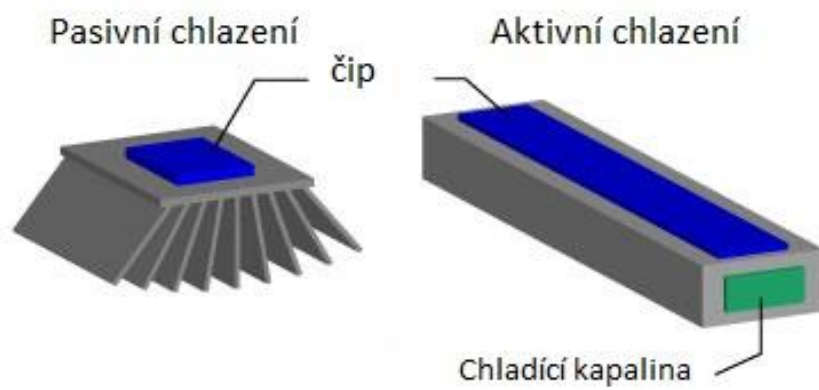
Pasivní polohovací systémy jsou založeny na tepelné roztažnosti hmoty (freonů) nebo na materiálech s tvarovou pamětí. Skládají se z několika pohonů. Podle toho, jak se zahřívají materiály v pohonech, se celý systém natáčí, dokud není natočen tak, aby došlo k rovnováze sil ve všech pohonech. Tyto pohony jsou ve srovnání s aktivními polohovacími systémy méně účinné a při nízkých teplotách nepracují vůbec. [15] [16] [17]

1.7 Chladicí média

Většina koncentrovaných fotovoltaických panelů se musí chladit. Existují tři typy chlazení a to aktivní a pasivní nebo kombinace obou. Pasivní chlazení je chlazeno pouze okolním vzduchem. Jedná se o destičky, které jsou rozloženy po celé délce chlazené oblasti (v našem případě v oblasti čipu) a do kterých se rozkládá teplo z celé chlazené oblasti. Mezi jednotlivými destičkami jsou vzduchové mezery, kudy může volně proudit vzduch a chladit destičky. Chlazení je většinou vyrobeno z hliníkového odlitku nebo z keramického substrátu. Jedná se o nejméně účinné chlazení, ale je to nejlevnější a nejjednodušší varianta. [18] [19]

Jako další chlazení je možné použít chlazení aktivní. Jde o trubičky vyrobené z mědi, plněné chladicí kapalinou, většinou tekutým kovem, které jsou rozprostřeny na chlazenou oblast tak, aby se co největší plochou dotýkaly chlazené oblasti. Toto řešení je dražší a je náročnější na údržbu. Je však mnohem účinnější než pasivní a pro systémy koncentrované fotovoltaiky je tak aktivní chlazení lepším řešením. [18] [19]

Nejlepší chlazení je kombinace aktivního i pasivního chlazení. Na ploše chlazené oblasti jsou rozvedeny trubičky stejně jako u aktivního chlazení s tím rozdílem, že na trubičkách jsou kolmo nasazeny destičky pasivního chlazení, čímž se značně zvedá efektivita celého chlazení. [20]



Obr. 4 Rozdíl mezi aktivním a pasivním chlazením[převzato z (19)]

2 Komerčně dostupné koncentrované fotovoltaické systémy

V dnešní době existuje kolem padesáti firem, které se zabývají výrobou a distribucí koncentrovaných fotovoltaických technologií. Firmy se soustředí na tři základní typy panelů. Jsou to panely s jednou či více Fresnelovo čočkami, dále jsou to panely s vypouklými zrcadly a v neposlední řadě jsou to obyčejné křemíkové panely se zrcadly. Dalším typem je koncentrovaná fotovoltaika s luminescenčním filmem, ale tento systém je zatím pouze ve vývoji a není běžně komerčně dostupný.

2.1 Srovnání křemíkové výroby s koncentrovanou fotovoltaickou výrobou

Křemíkové a koncentrované fotovoltaické panely se liší v mnoha parametrech. Zde jsou srovnávány panely z obou kategorií ve vyšší parametrické třídě. Kategorie křemíkové výroby je zaměřena na panely polykrystalické a z koncentrovaných panelů jsou dále uvedeny panely s vysokou koncentrací světla, které používají technologii Fresnelových čoček.

Fotovoltaické panely z monokrystalického křemíku mají účinnost okolo 14 % až 16 %. To je oproti koncentrovaným fotovoltaickým panelům výrazně méně. Běžně vyráběné koncentrované fotovoltaické panely mají účinnost okolo 30 %, tedy dvakrát větší účinnost než panely z monokrystalického křemíku. Teplotní závislost výkonu a účinnosti monokrystalických článků je také horší než u koncentrovaných. Monokrystalické články mají teplotní závislost - 0,47 % účinnosti na jeden stupeň celsia, oproti koncentrovaným které mají teplotní závislost - 0,17 % na jeden stupeň celsia. [10] Z toho plyne, že využití monokrystalických článků v horkých oblastech se nevyplatí, jelikož jmenovitá hodnota těchto panelů klesá v letním období až na 30 %. Aby křemíkové panely dosahovaly alespoň stejného výkonu jako koncentrované, museli by mít dvojnásobně větší plochu. To znamená, že křemíková fotovoltaická elektrárna oproti koncentrované bude mnohem větší a bude tak zabírat mnohem více plochy. Konstrukce křemíkových panelů je mnohem odolnější, je plochá a dokonale vodotěsná. Oproti křemíkovým konstrukcím jsou koncentrované fotovoltaické panely méně odolné, protože jejich konstrukce je prostorová a panel musí být tedy vodotěsný a trvale odolný vůči prachu. Konstrukčně se dá říci, že koncentrované panely jsou mnohem složitější a dražší na výrobu. Tloušťka křemíkových panelů se pohybuje okolo 20 mm. Naproti tomu koncentrované panely mají tloušťku okolo 180 mm (záleží na ohniskové vzdálenosti čoček). [10] Hmotnost obou panelů se také zřetelně liší. U křemíkových panelů většinu hmotnosti tvoří sklo. Koncentrované panely jsou tvořeny

z většího množství těžších částí, což se projeví na jejich hmotnosti. Velkou část na jejich hmotnosti se podílí právě chladiče, které jsou potřeba pro dobrý odvod tepla z čipu. [10] [13]

Jedním z největších rozdílů jsou konstrukce pro jednotlivé panely. Křemíkovým panelům stačí pouze obyčejná konstrukce. Je sestavena z jednoduchých podpěr, na které se panely položí a připevní. Nemusí být pohyblivá, stačí konstrukci nastavit tak aby panel směřoval co nejvýhodnějším směrem ke slunci. Tímto se zároveň zajistí jejich velká odolnost vůči nárazům větru a vychylování. [9] Naproti tomu pro koncentrované systémy je zapotřebí vždy natačecí systém (tracker), který bude zajišťovat neustálé sledování slunce a to i v případě, že slunce zajde za mrak. Pokud by totiž nedocházelo k dokonalému sledování slunce, mohl by se čip panelu přehřát nebo spálit špatným dopadem světla. Dovolena maximální odchylka se uvádí $\pm 0,5^\circ$. [10] [13]

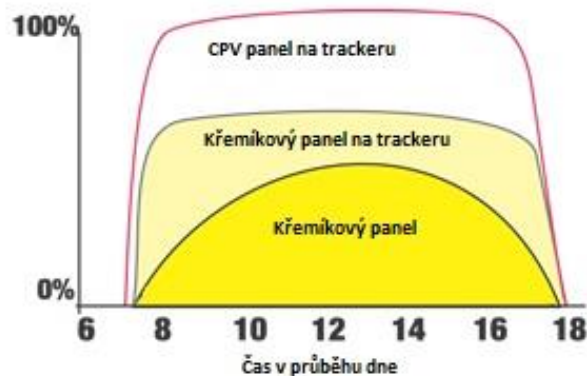
Velkým rizikem u křemíkových elektráren je vznik a šíření požáru. Může lehce dojít k vnitřnímu zkratu mezi živou částí a rámem panelu. Vznikne oblouk, který zapálí etylvinylacetátovou podložku. Jelikož slunce stále dodává energii, panely nejdou vypnout, a tak shoří celý systém a konstrukce se rozpadne. Zbytky hliníkové konstrukce mohou skapávat dolů a zapálit další hořlavé předměty. Navíc zplodiny hoření jsou silně toxické. Pokud dojde k poruše křemíkového panelu, je dále neopravitelný a znamená to, že se musí vyměnit při každé poruše. [10] S tím souvisí i složitá recyklace těchto panelů.

Koncentrované fotovoltaické výroby jsou mnohem bezpečnější, protože se skládají z nehořlavých materiálů jako je sklo, keramika, hliník a podobně. Kdyby i přesto byli silikonové čočky vystaveny požáru, nevznikaly by žádné toxické zplodiny, protože žádné neprodukují. Při poruše se koncentrovaný panel nechá jednoduše opravit a recyklace a demontáž těchto panelů je snadná. [10]

Křemíková polykrystalická výroba se nachází například ve městě Prachatice v Jižních Čechách. Výrobna je namontována na střešní krytině společnosti Tribase. Výrobna byla uvedena do provozu roku 2012 a celkový instalovaný výkon je 6 kWp. Jsou zde použity polykrystalické panely značky Kyocera. Počet nainstalovaných panelů je třicet se jmenovitou hodnotou jednoho panelu 195 Wp. Panely jsou nakloněny pod úhlem 45° .

Koncentrovaná fotovoltaická výrobná se nachází ve městě Hradec Králové na ploché střešní krytině společnosti Elceram. Jedná se o malou výrobná o výkonu 750 Wp. Je zde nainstalováno šest panelů o jmenovitém výkonu jednoho panelu 125 Wp. Systém je namontován na dvuosém polohovacím zařízení. [10]

V přepočtu na jeden metr čtvereční, dosahuje koncentrovaný systém většího výkonu než je tomu u křemíkového systému. Křemíková fotovoltaická výrobná dosahuje výkonu přibližně 150Wp/m^2 a koncentrovaná fotovoltaická výrobná dosahuje 220Wp/m^2 . Znamená to tedy, že koncentrovaná fotovoltaická výrobná dokáže na menší ploše vyrobit více elektrické energie. Toto ovšem platí jen za ideálních podmínek. Pokud bychom měli porovnat tyto systémy při zhoršených podmínkách zapříčiněných počasím, došli bychom ke zcela rozdílným výsledkům. Je tedy nutné vždy uvažovat, kam se daný systém bude instalovat a zvážit tak všechny klady a zápory obou systémů a podle toho se rozhodnout.



Obr. 5 Poměr energetického zisku jednotlivých výroben [převzato z (29)]

2.2 Parametry koncentrovaných fotovoltaických systémů

V této části jsou seřazeny abecedně všechny firmy, které vyrábějí a inovují koncentrované systémy. Jsou použité všechny veřejně dostupné údaje a informace popřípadě informace které firmy samy poskytly pro účely této práce.

Abengoa solar (Španělsko)

Společnost byla založena roku 1993. Firma se zaměřuje převážně na fotovoltaické a solární elektrárny. Největšími elektrárnami, které firma vybudovala, jsou solární věžové elektrárny.

Koncentrovaná fotovoltaika je pro firmu pouze malým přínosem a proto se tímto směrem příliš nezaměřuje. Přesto vyrábí koncentrované fotovoltaické panely s Fresnelovo čočkou (M300). Panel se skládá ze 42 čipů. Celý systém má potom výkon 30 kW a skládá se z devadesáti panelů M300. [25]

Aest (Itálie)

Tato italská společnost zkoumá a vyrábí vysoce koncentrované systémy. Poskytuje dva typy panelů. Prvním typem je panel s kulatými Fresnelovými čočkami a druhý používá čtvercové čočky. Panely se čtvercovými čočkami dosahují vyšších výkonů, ale nižší účinnosti než panely s kulatou čočkou. Jeden panel obsahuje 24 vícepřechodových čipů. Dále firma nabízí systém se čtrnácti, dvanácti nebo čtyřmi panely. [24]

Akhter solar (Pákistán)

Tato firma vznikla s cílem vybudovat a odstartovat solární průmysl v Pákistánu. Byla založena roku 2005 a soustředí se především na křemíkové fotovoltaické panely. Firma vyrábí i křemíkové koncentrované panely, které patří do kategorie nízké koncentrace a jejich výkon není tak vysoký. Technologie ovšem používá o 25% méně křemíku než u klasických fotovoltaických panelů. [23]

Arzon solar (Spojené státy americké)

Firma se sídlem ve Spojených státech ve městě Los Angeles se zabývá výrobou a inovací koncentrovaných fotovoltaických systémů již 18 let. Systém se skládá z několika CPV panelů a polohovacího zařízení. Hodnoty výkonu uvedené v tabulce jsou pro celý systém. Firma vyrábí panely s Fresnelovo čočkou a vícepřechodovým článkem s vysokou účinností. Jedná se o jedny z největších systémů na trhu. Největší systém dosahuje maximálního výkonu až 84 kW s účinností 30%. [22]

Azur space (Německo)

Jedná se o německou firmu se sídlem v Helibronnu. Firma se zabývá výrobou, inovací a prodejem koncentrovaných fotovoltaických systémů pro vesmírné i pro běžné účely a již má

v tomto oboru přes padesát let zkušeností. Pro běžné účely se firma zaměřuje na výrobu CPV čipů, CPV EFA (Enhanced Fresnel Assembly) a CPV ADAM (Advanced Dense Array Module). Firma prodává samostatné CPV čipy, které podle potřeby zákazníka může upravit tak, aby vyhovovali jeho požadavkům. Jedná se o čipy různých velikostí a jsou určeny k instalacím jak pro Fresnelovy čočky, tak pro parabolická zrcadla. CPV EFA jsou čipy, již speciálně upravené pro instalace s Fresnelovými čočkami. Dalším výrobkem je čip CPV ADAM, který je upravený tak, aby ho bylo možné montovat na panely s parabolickými zrcadly. Všechny čipy mají velmi vysokou účinnost kolem 40 %. [21]

CESI (Itálie)

Italská společnost má třicetileté zkušenosti v oblasti výzkumu, vývoje a výroby vícepřechodových článků a to jak pro vesmírné, tak i pro pozemní aplikace. Účinnost CPV čipů je okolo 40 %. Společnost se soustředí na výrobu čipů pro vesmírné účely. [41]

Compagnie delle Energie (Itálie)

V roce 2010, kdy byla společnost založena, se firma zabývala pouze křemíkovými fotovoltaickými panely. Později se začala zabývat i koncentrovanými fotovoltaickými panely. Společnost nabízí CPV systémy, které se nechají montovat na střešní krytiny. Panel se skládá ze třiceti vícepřechodových čipů. Panely jsou na svoje rozměry velice výkonné a účinné. Jedná se o malý systém, který se hodí pro menší instalace. [26]

Elceram (Česká republika)

Česká výrobní společnost, která byla založena roku 1994 v Hradci Králové. Zabývá se především výrobou substrátů z korundové keramiky. Dále společnost vyvíjí a vyrábí koncentrované fotovoltaické články. Z těchto článků firma zkonstruovala šest solárních panelů a sestavila z nich solární systém s výkonem 750 W. [28]

Everphoton (Taiwan)

Společnost se sídlem na Taiwanu byla založena roku 2007. Everphoton se soustředí na výrobu křemíkových fotovoltaických panelů a koncentrovaných fotovoltaických panelů.

Z CPV panelů vyrábí dva typy. První typ se nazývá Kompaktní panel. Je výrazně menších rozměrů a obsahuje sto vícepřechodových čipů. Druhý typ se nazývá Standartní panel a obsahuje pouze čtyřicet vícepřechodových čipů, přičemž rozměry tohoto panelu jsou větší než u Kompaktního panelu. Zato však tento panel disponuje vyšším výkonem. Společnost dále vyvinula první prototyp mobilního koncentrovaného systému, přičemž je panel připevněn na nákladní auto, které doveze koncentrovaný systém tam, kam je potřeba a funguje jako nezávislá výrobní elektrické energie. [39]



Obr. 6 Speciální systém od firmy Everphoton [převzato z (39)]

GPIII (Itálie)

Italská společnost se zabývá CPV panely s parabolickými zrcadly, které zde fungují jako koncentrátor. Na každý čip je světlo koncentrováno pomocí primárního a sekundárního zrcadla, kdy sekundární zrcadlo odráží již koncentrovaný paprsek na samotný čip. Na jednom CPV panelu se nachází osm malých parabolických zrcadel a celý systém se poté skládá z několika těchto panelů. Účinnost panelů je poměrně vysoká, okolo 33 %. [38]

Heliotrop (Francie)

Společnost byla založena roku 2009 a dnes má sídlo ve Francii ve městě Lyon. Heliotrop vyrábí koncentrované fotovoltaické panely s Fresnelovo čočkami. Panely se vyznačují vysokou hodnotou koncentrace a to i více jak 1000x. Heliotrop zároveň zaručuje i vysokou účinnost panelů přes 30 %. [37]

Chroma energy (Indie)

Indická společnost, která vyvíjí a vyrábí pouze koncentrované fotovoltaické systémy. Parametry systému nejsou k dispozici a společnost ani žádné další informace neposkytla. [27]

Meridian (Čína)

Další čínská společnost zabývající se CPV technologií, sídlící v Honk Kongu. Zabývá se výrobou a vývojem CPV článků, panelů a polohovacích zařízení. Vysoká účinnost panelů až 32 % je největší dosažená v Číně. [29]

Morgan Solar (Kanada)

Kanadská společnost se sídlem v Torontu byla založena roku 2007. Jejich hlavním produktem je CPV panel Sun Simba s vysokou koncentrací. Každý panel obsahuje vícepřechodové čipy o rozměrech 5mm² s velmi vysokou účinností více jak 40 %. Sun Simba má speciální čočku ve tvaru šestihranu. Díky tomuto tvaru a použité technologii, koncentruje světlo uvnitř čočky, čímž se značně zmenší hloubka panelu. Panel dosahuje stejné účinnosti jako ostatní CPV systémy a zároveň má stejnou tloušťku jako běžný křemíkový panel. [35]

Pacific solartech (Kalifornie)

Společnost se sídlem ve Fremontu v Kalifornii, vyrábí křemíkové panely, ve kterých je pouze jedna sedmina křemíku, nežli je použita u běžných křemíkových fotovoltaických panelů. Technologie soustředí světlo pomocí plastových čoček na křemíkové čipy. Panely mají pouze malou hodnotu koncentrace světla, ale i přesto jsou účinnější než běžné křemíkové panely. Navíc si stále zachovávají vlastnosti jako běžné křemíkové panely, z čehož plyne, že nepotřebují polohovací systém. [34]

Semprius (Spojené státy americké)

Americká společnost zabývající se výrobou CPV systémů. Společnost sídlí ve městě Durnham ve státu Tennessee. Semprius vyrábí panely s vysokou koncentrací, které používají jako koncentrátor Fresnelovu čočku. Hodnota koncentrace panelu je více jak 1100x. V panelu jsou vícepřechodové čipy velmi vysokou s účinností přes 41 %, které mají menší rozměry ve srovnání s ostatními výrobci. [33]

Soitec (Francie)

Jedna z velkých celosvětových společností, která se zabývá vývojem a výrobou polovodičových materiálů pro elektronický a energetický průmysl. Společnost sídlí ve Francii, kde vyrábí i koncentrované fotovoltaické panely. Panely používají ke koncentraci Fresnelovy čočky. Hodnota koncentrace, která dopadá na vícepřechodový čip, je 500x. Účinnost tohoto panelu je 32,8 % a řadí se tak mezi vysoce účinné. Panely nepotřebují vodní chlazení. Používají chlazení pouze pasivní. [32]

Solar Junction (Spojené státy americké)

Tato společnost byla založena v roce 2007 ve státě Kalifornie ve městě San Jose. Specializuje se na vývoj a výrobu CPV čipů, které jsou schopny pracovat při hodnotě koncentrace 4000x. Účinnost čipů je velmi vysoká a to až 42 %. [40]

Solar systems (Austrálie)

Australská firma se sídlem ve městě Abbotsford se dlouhodobě zabývá výzkumem a vývojem vysoce koncentrované fotovoltaické technologie. Firma vyrábí a testuje CPV panely s parabolickými zrcadly. Odrazová plocha parabolického zrcadla má průměr patnáct metrů a skládá se ze stodvanácti jednotlivých zrcadel. Koncentrační hodnota se pohybuje okolo 500x. V současné době firma vyvíjí nový panel o průměru sedmi metrů a koncentrační hodnotě 1000x. Na přijímači systému je namontovaný modul, který obsahuje 36 vícepřechodových fotovoltaických čipů. Všechny tyto čipy jsou na jedné platformě a musejí být chlazeny, v tomto případě vodním chlazením. [31]

Solergy (Itálie)

Jedná se o italskou společnost, která se zabývá výrobou koncentrovaných fotovoltaických systémů s Fresnelovo čočkou. CPV panel od firmy Solergy má účinnost 33 % Od ostatních výrobců se CPV panel liší tím, že umí dále využít zbytkové teplo z panelů například na ohřev vody v domácnosti. [42]

Soltune (Španělsko)

Společnost se sídlem ve Španělsku provádí výzkum a vývoj solárních článků pro pozemní a vesmírné aplikace. Dále se zabývá vývojem koncentrovaných fotovoltaických panelů. [30]

Suncore (Čína)

Společnost se sídlem v Číně, se zaměřuje na celou škálu CPV technologie. Suncore vyrábí polohovací systémy pro CPV, dále CPV panely jak s Fresnelovo čočkou tak s parabolickým zrcadlem a tyto systémy dále vyvíjí a vylepšuje. Účinnost jejích panelů se pohybuje okolo 30 %. [44]

Tianjin Lantian Solar Tech (LT solar) (Čína)

Firma zabývající se koncentrovanými fotovoltaickými čipy a panely s Fresnelovo čočkami. Jedná se o čínskou společnost, která sídlí ve městě Tianjin. Účinnost CPV panelu je 27,5 %, tudíž nižší než je běžné u ostatních společností. [43]

YS (Shenzen YinXuanSheng Technology) (Čína)

Čínská výrobní společnost zabývající se výrobou CPV čipů. Společnost neuvádí parametry svých produktů. [45]

Tab. 1 Parametry CPV panelů a systémů

Výrobce	Typ	Specifikace	Hodnota koncentrace	Účinnost panelu [%]	Účinnost čipu [%]	Výkon [W]	Rozměry panelu/systému [mm]
ARZON SOLAR	uMODULE	Systém - fresnelova čočka		33	40	2700	2160x5110x310
	uM2	Systém - fresnelova čočka		33	40	5 400	5100x5100x1600
	uM6	Systém - fresnelova čočka		33	40	16 000	7500x10200x1700
	8700	Systém - fresnelova čočka		33	40	84 000	14950x21950x1540
AKHTER SOLAR	JN - 1476	panel - křemíkový koncentrovaný				115	1020x1020x150
		panel - křemíkový koncentrovaný				150	1340x1020x150
		panel - křemíkový koncentrovaný			18	115	1020x1020x210

		panel - křemíkový koncentrovaný			18	150	1340x1020x210
AEST	OCULIS-A- 24B	Panel - fresnelova čočka	715x	28,9		1123	5956x1008x715
	QUADRIS-A- 24A	Panel - fresnelova čočka	1000x	27,5		1442	5956x1008x715
ABENGOA SOLAR	M300	Systém - fresnelova čočka		28			
Copagnie delle Energie	Versatile	Systém - fresnelova čočka		32		367	1366x110x373,8
PACIFIC SOLAR TECH	PV10BF	panel - křemíkový koncentrovaný				10	560x293x78,49
	PV20BF	panel - křemíkový koncentrovaný				20	1103x293x78,49
	PV36BF	panel - křemíkový koncentrovaný				36	1113x302,3x78,49
	PV30	panel - křemíkový koncentrovaný				30	1113x302x78,49
	PV25BF	panel - křemíkový koncentrovaný				25	1103x586x78,49
	PV50BF	panel - křemíkový koncentrovaný				50	1103x293x78,49
LT Solar	CMPI	Panel - fresnelova čočka		27,5		360	1370x1040x580
HT SUN	II MODULO	Systém - Fresnelovo čočka	500x	31		180	1597x531x241
GP III	GPS 600 - LS	Systém - parabolická zrcadla	600x	33	38,9	1150	2245x2345x850
		Systém - parabolická zrcadla	600x	33	38,9	4450	4450x4690x1750
		Systém - parabolická zrcadla	600x	33	38,9	4450	4450x4690x2950
ELCERAM	ET - CPV - 125	Panel - fresnelova čočka		30		125	922x600x170
SOITEC	CX - M500	Panel - fresnelova čočka	500x	32,8		2550	3670x2390x102
EVERPHOTO N	COMPACT	Panel - fresnelova čočka		25	35	43	500x500x84
	STANDART	Panel - fresnelova čočka		25	35	125	1340x556x246
MERIDIAN	MGM16-96	Panel - fresnelova čočka		32	39	96	650x655x220
SUNCORE	DDM-1090X	Panel - fresnelova čočka	1000x	28	37	450	1740x1080x640
	Z10	Systém - parabolická zrcadla				2 250	3800x3480x3480

Tab. 2 Parametry CPV čipů a článků

Výrobce	Typ	Specifikace	Hodnota koncentrace	Účinnost čipu [%]	Výkon [W]	Rozměry čipu [mm]
AZUR SPACE	3C44	čip	250x	42,1	10,59	10x10
			250x	41,9	10,55	10x10
			250x	41,5	10,44	10x10
			250x	41,3	10,39	10x10
			500x	42	21,2	10x10
			500x	41,8	21,04	10x10
			500x	41,4	20,88	10x10
			500x	41,2	20,73	10x10
			1000x	40,3	40,56	10x10
			1000x	40,2	40,46	10x10
			1000x	40,8	41,08	10x10
			1000x	40,5	40,77	10x10
			250x	42,9	3,28	5x5
			250x	42,6	3,26	5x5
			250x	42,4	3,25	5x5
			250x	42,1	3,21	5x5
			500x	43,1	6,55	5x5
			500x	42,8	6,51	5x5
			500x	42,8	6,55	5x5
			500x	42,6	6,53	5x5
			1000x	41,7	12,74	5x5
			1000x	41,4	12,65	5x5
			1000x	42,4	13	5x5
			1000x	42,2	12,9	5x5
			x250x	44	1,01	3x3
			250x	43,7	1	3x3
			250x	43,4	0,99	3x3
			250x	43,1	0,98	3x3
			500x	43,9	2,01	3x3
			500x	43,6	2	3x3
			500x	43,6	1,99	3x3
			500x	43,3	1,98	3x3
			1000x	42,9	3,92	3x3
			1000x	42,7	3,9	3x3
			1000x	43,2	3,95	3x3
			1000x	42,9	3,93	3x3
	3C44A	článek	250x	42,1	10,59	10x10
			250x	41,9	10,55	10x10
			250x	41,5	10,44	10x10
			250x	41,3	10,39	10x10
			500x	42	21,2	10x10
			500x	41,8	21,04	10x10

			500x	41,4	20,88	10x10
			500x	42	21,02	10x10
			1000x	40,3	40,56	10x10
			1000x	40,2	40,46	10x10
			1000x	40,8	41,08	10x10
			1000x	40,5	40,77	10x10
			250x	42,9	3,28	5x5
			250x	42,6	3,26	5x5
			250x	42,4	3,25	5x5
			250x	42,1	3,21	5x5
			500x	43,1	6,55	5x5
			500x	42,8	6,51	5x5
			500x	42,8	6,55	5x5
			500x	42,1	6,54	5x5
			1000x	41,7	12,74	5x5
			1000x	41,4	12,65	5x5
			1000x	42,4	13	5x5
			1000x	42,2	13,9	5x5
	3C30M	článek	700x	32	3 200	1780x1270
LT Solar	LT-CC-100	čip	500x	40,1	19,85	10x10
			1000x	39,1	38,71	10x10
	LT-CC-030	čip	500x	40,3	6,1	10x10
			1000x	39,3	11,89	10x10
	TJ30	čip		29,5		30x40
	TJ28	čip		28,3		30x41
CESI	CCTJ40	čip	1000x	38,8	38,3	10x10
ELCERAM	ELC 38 - 300	článek	300x	38	2,1	24x24x1,35
MERIDIAN	6W Submont	článek		38	6,03	40x19x2,5
	18W Submont	článek		38	18	35x35
SUNCORE	CTJ RECEIVER	článek		37		5x5
	CTJ RECEIVER	článek		37		10x10

2.3 Pořizovací náklady jednotlivých panelů

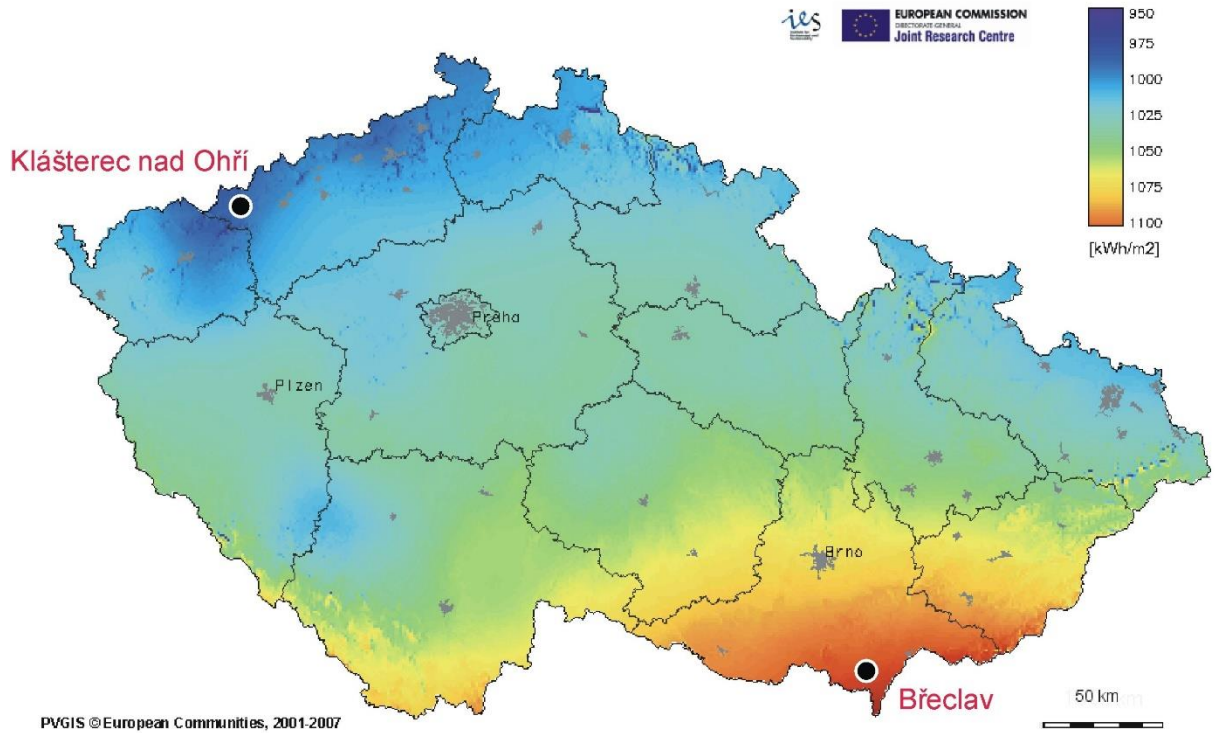
Není jednoduché určit jednotkovou cenu panelu, jelikož se cena většinou určuje podle množství nakoupených panelů a společnosti ceny neuvádí. Většinou si firma stanoví, kolik bude stát jeden watt peak (Wp), neboli nominální výkon panelů a podle nainstalovaného výkonu stanovuje finální cenu. [10] [21] [24] Cena za jeden Wp se pohybuje zhruba okolo patnácti korun českých. Jedná se pouze o hrubý odhad, protože společnosti neposkytly dostatek informací.

3 Optimální řešení získávání energie z koncentrovaných fotovoltaických článků

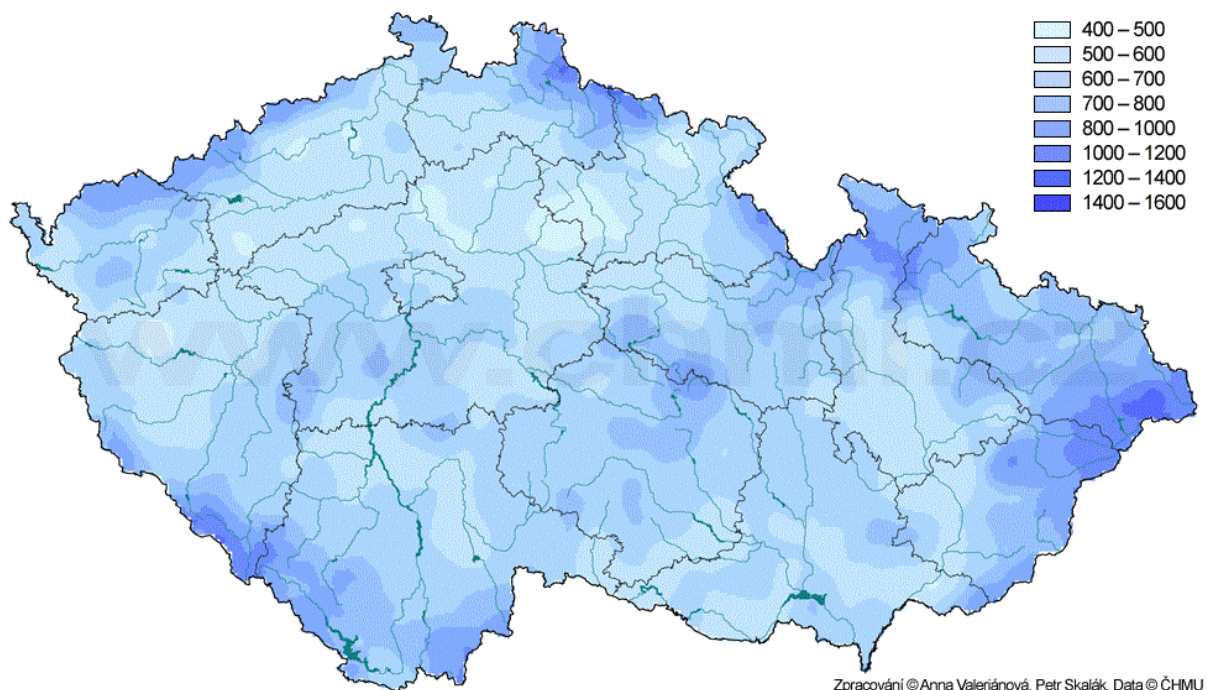
Koncentrované fotovoltaické články nelze využívat ve všech geografických oblastech, respektive používání koncentrované fotovoltaiky je v oblastech bližších k oběma zemským pólům z ekonomického hlediska diskutabilní. Jak křemíkové tak koncentrované fotovoltaické systémy mají své přednosti a nedostatky a hodí se je využívat v různých podmínkách. Záleží na mnoha faktorech jako je teplota, počasí, povětrnostní podmínky, síla slunečního záření a mnoho dalších. Důležité je, aby systém byl schopen využít svých předností a byl využíván v oblastech které jsou pro něj ideální.

3.1 Optimální prostředí pro využití koncentrovaných fotovoltaických článků

Jako optimální prostředí pro koncentrované fotovoltaické systémy se hodí prostředí, ve kterém je velká intenzita slunečního záření, kde je menší počet oblačnosti a kde teploty dosahují vysokých hodnot. Z pravidla nelze určit minimální požadavky pro instalaci CPV systémů, ale jejich instalace se provádí v oblastech, kde hustota energie slunečního záření značně přesahuje 1000 kWh/m^2 . [10] V České republice je přijatelné místo v okolí města Brna a odtud směrem na jih (viz obr. 7). Jako nejideálnější městem pro provoz koncentrované fotovoltaické výroby se jeví okolí města Břeclav kde je největší intenzita záření. [46] Dále je důležité, aby nebylo oblačno, protože na koncentrované fotovoltaické panely musí dopadat sluneční záření pod úhlem 90° a pokud slunce zajde za mrak, tak zbylé záření nedopadá v daném úhlu a střídače nemají dostatek energie, aby se nastartovaly. Jelikož ale neexistují data o výskytu oblačnosti, jediný způsob, jak dostat hrubý přehled je z úhrnu srážek (viz obr. 8). V těchto oblastech se však nevyplatí provozovat koncentrované systémy, které mají malou teplotní závislost a velké požadavky na přímé sluneční záření. Z uvedených je tedy ekonomicky lepší použít levnější a parametrově horší typy koncentrovaných systémů. Jako nejlepší řešení z koncentrovaných fotovoltaických panelů se do této oblasti hodí panel od společnosti Akhter solar. Jedná se o křemíkové panely se speciálními hranolovými čočkami (Prismatic Lens), které koncentrují světlo na křemíkový modul. Panel jako jeden z mála koncentrovaných nepotřebuje dvousý tracker, ale stačí mu pouze jednosý a funguje i při mírné oblačnosti. Navíc má větší výkon než běžné křemíkové panely. [23]

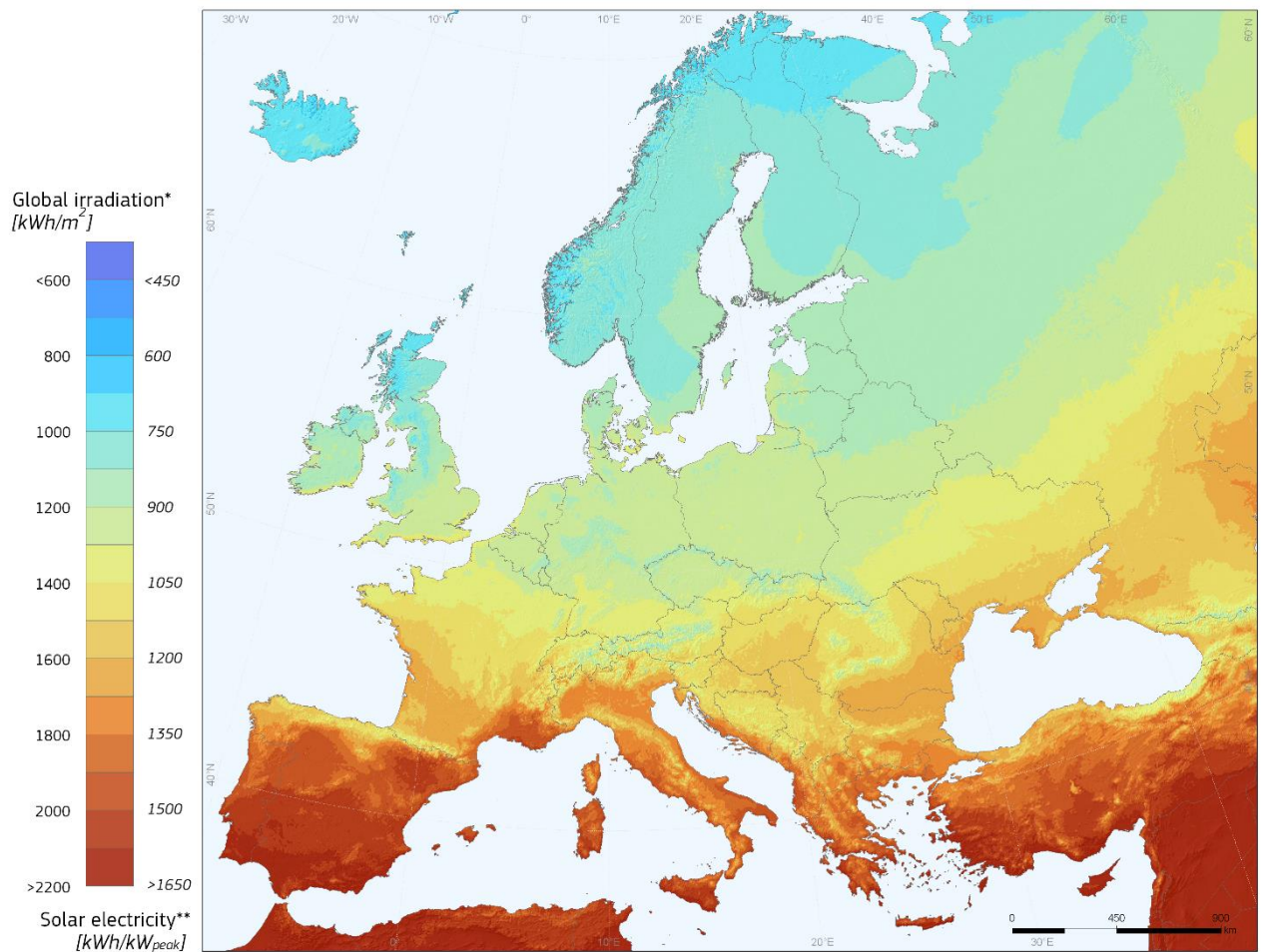


Obr. 7 Intenzita slunečního záření v České republice [převzato z (46)]



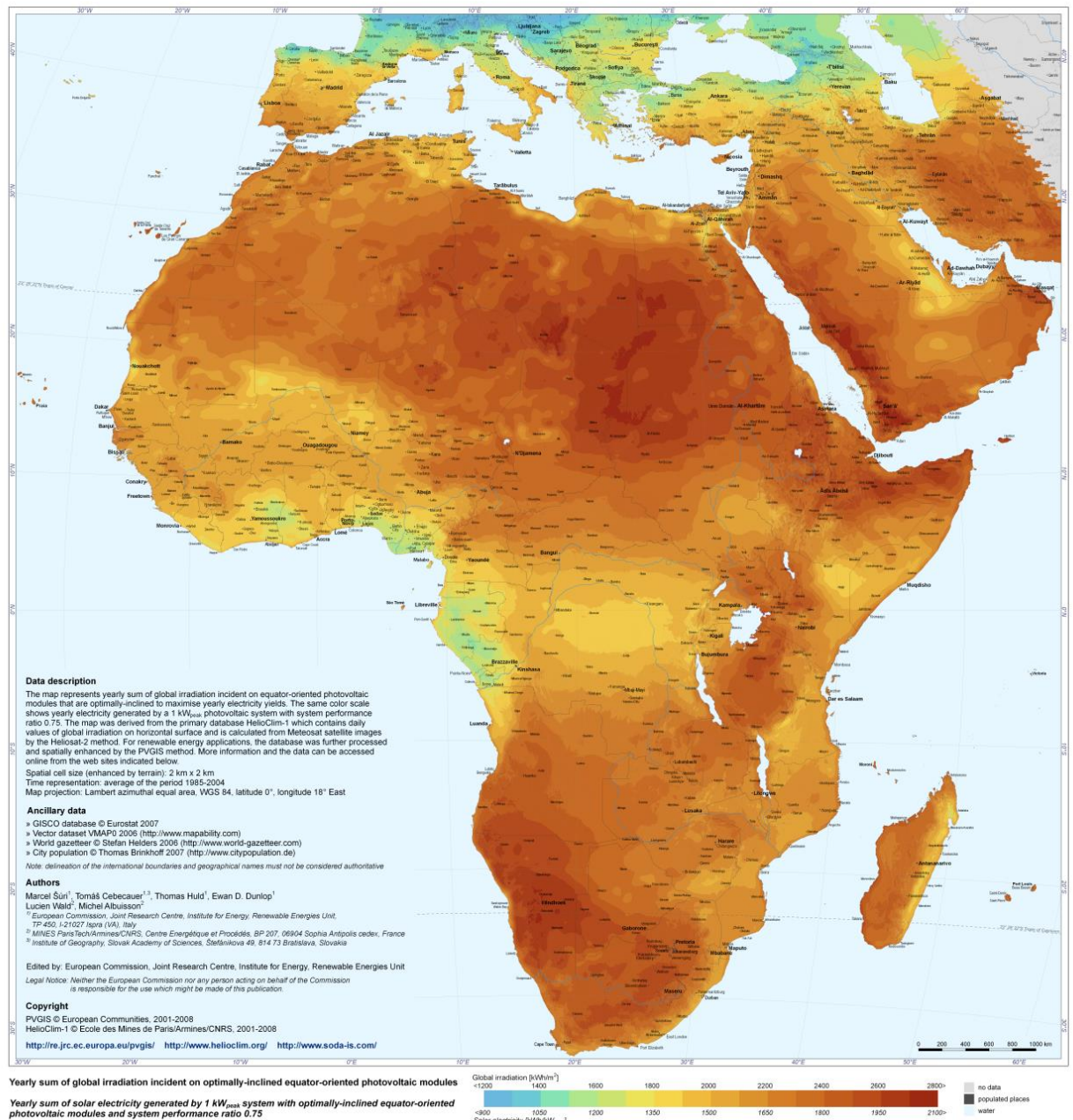
Obr. 8 Úhrn srážek v mm za rok 2014 [převzato z (47)]

Při bližším zkoumání rozložení intenzity záření v Evropě, se jako ideální místa jeví jižní státy jako je Španělsko, Itálie, jih Francie a Řecko. Zde dosahuje hustota záření více jak 2000 kWh/m². Na obr. 9 jsou tyto oblasti vyznačeny hnědou barvou.



Obr. 9 intenzita slunečního záření v Evropě [převzato z (46)]

Na obr. 10 je tmavě hnědou barvou vyznačena oblast, která dosahuje hustoty energie slunečního záření více jak 2800 kWh/m^2 . Zde se mohou vyšplhat teploty na více jak $50 \text{ }^\circ\text{C}$. V takových teplotách křemíkové panely výrazně ztrácejí na účinnosti oproti CPV panelům. Jako ideální řešení pro aplikaci koncentrovaného fotovoltaického systému kolem rovníku se nejvíce hodí systém od společnosti Arzon solar s dvouosým trackerem. Tento systém dosahuje účinnosti až 33 % a je schopen zvládnout teploty od $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ až do $50 \text{ }^\circ\text{C}$. [22] Systém by musel být montován s aktivním chlazením, které ovšem nepoužívá jako chladivo vodu ale tekutý kov, z důvodu nedostatku vodních zdrojů v této oblasti.



Obr. 10 intenzita slunečního záření v Africe 1985-2004 [převzato z (46)]

3.2 Návrh

Aby se výstavba fotovoltaických výroben vyplatila, musí být zaručená návratnost investic do určité doby. Ta by měla být maximálně do konce životnosti fotovoltaických panelů, ale jelikož není zatím známá reálná životnost, tak se uvažuje pouze teoretická, která je přibližně dvacet let. U každé fotovoltaické výroby je nutné nejdříve spočítat, kolik celá výroba bude stát, dále si přepočítat předpokládanou výrobu za jeden rok a určit, kterou sazbu za výrobu elektrické energie použijeme a kolik z celkové vyrobené energie spotřebujeme. [45]

Vzhledem k tomu, že od 1. 1. 2014 skončila v České republice podpora výkupních cen pro výrobu elektřiny slunečním zářením, (viz Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu) tato část se bude zabývat návratností investice do výstavby fotovoltaické výroby pouze úsporou za ušetřenou (nakoupenou) elektřinu. [45]

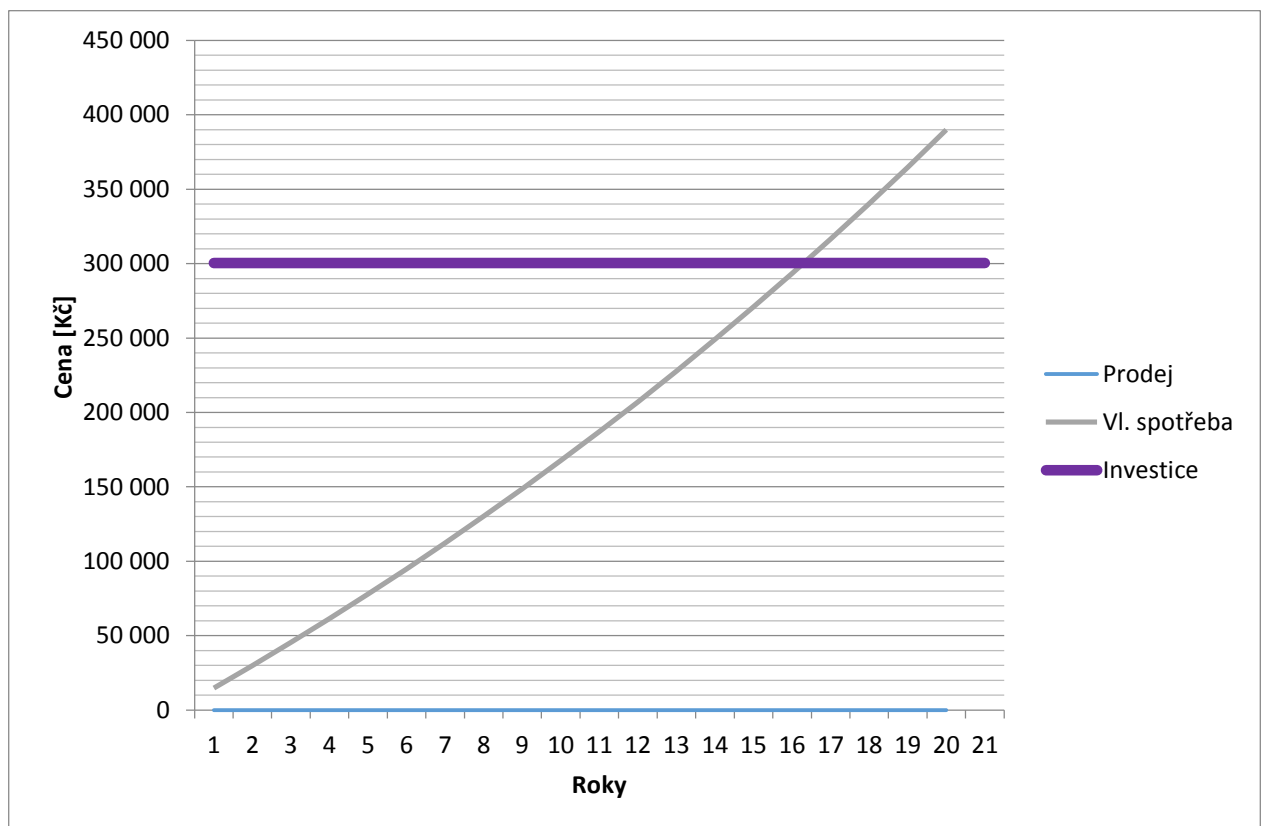
V obecné rovině lze uvažovat, že v případě výpočtu návratnosti investice do fotovoltaické výroby nehraje významnou roli, zda se jedná o výrobu s využitím klasických panelů s křemíkovými články nebo o výrobu na bázi panelů s využitím technologie CPV.

Podstatou není návrh výroby na maximální možnou výrobu, ale naopak optimalizace návrhu výroby tak aby celkový výkon výroby byl v korelaci s požadovanou nebo možnou spotřebou. Dále je zapotřebí se v návrhu zaměřit na rozložení požadované spotřeby v čase. Uvažujeme možné typické příklady spotřeby.

1. Spotřeba především v denních hodinách, popřípadě zvýšený nárok na energii se stoupající teplotou prostředí v letních měsících. Typickým příkladem takové instalace jsou například mrazírny, supermarkety, výrobní prostory, kde je požadavek na klimatizaci prostor. Pro takové řešení lze uvažovat o spotřebě vyrobené energie v hodnotě blízké 100%. [45]
2. Spotřeba v denních hodinách, kterou lze programově přesouvat v rámci okamžité výroby energie z fotovoltaického systému. Příkladem mohou být obecně organizace, kde probíhá pracovní proces v denních hodinách, popřípadě výrobní prostory, kde je třeba zajistit například dobíjení baterií, výrobu stlačeného vzduchu a podobně, ale například i bytové domy, kde lze vhodným řízením spouštět různé spotřebiče. Dobrým řešením se jeví například spojení fotovoltaické výroby s tepelným čerpadlem. V těchto případech uvažujeme o bilanci spotřeby vlastní vyrobené energie v rozsahu 70-80%. [45]
3. Posledním příkladem využití elektrické energie vyrobené ze slunečního záření jsou instalace, kde je běžný režim spotřeby. Příkladem jsou běžné budovy včetně budov obytných bez řízení energetických toků. Zde je možné i na základě praktických zkušeností uvažovat o poměru spotřeby vlastní energie v rozmezí 50-60%. [45]

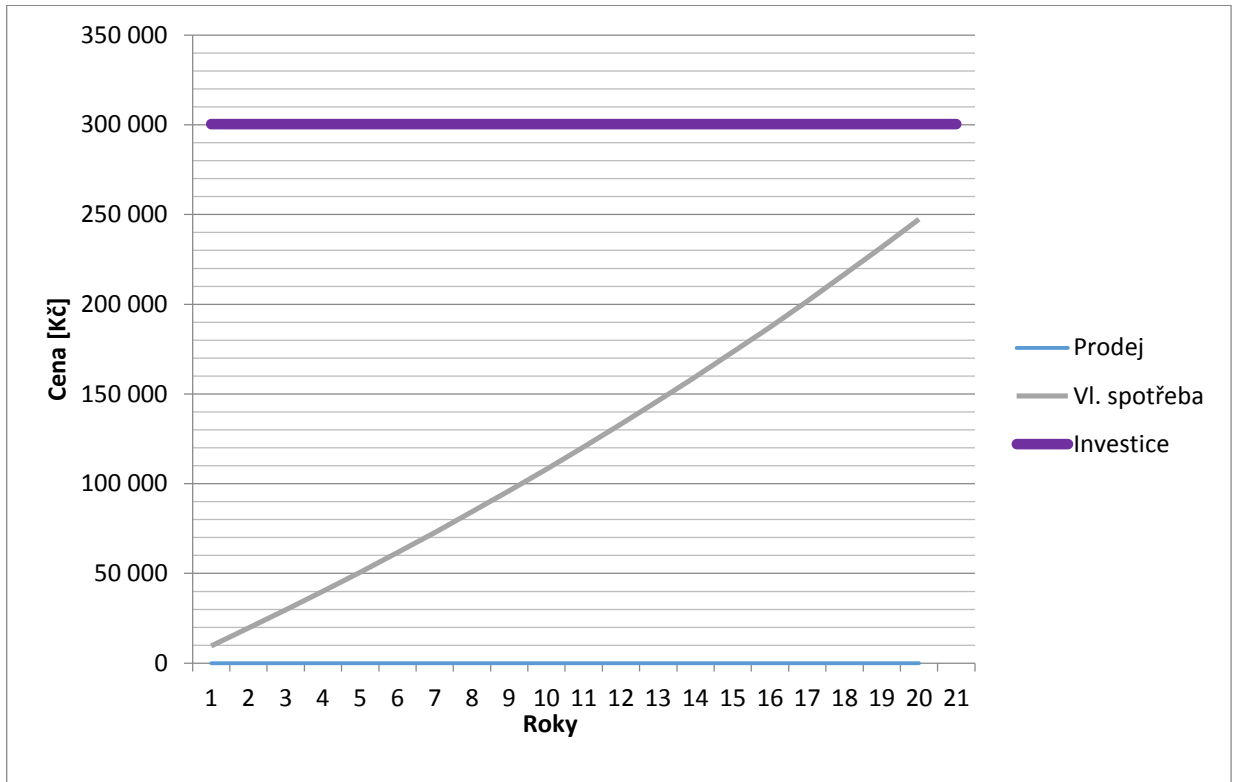
Na základě této úvahy je pak provedena optimalizace návrhu instalovaného výkonu fotovoltaické výroby.

U koncentrovaných a křemíkových fotovoltaických systémů se celková návratnost bude lišit vzhledem k rozdílným pořizovacím nákladům. Pro zvolenou sazbu D35d bude návratnost koncentrované výroby o výkonu 5 kWp s vlastní spotřebou 70 % okolo dvanácti let (viz obr 11). Hodnota 300 000 Kč je za výrobu o výkonu 5kWp vyznačená na ose y. Je složena z ceny za samotné panely a to 26 180 Kč za jeden kWp. Dále z elektrické části jako je kabeláž, rozvaděče, střídače a mechanické díly je cena ve výši 22 600 na jeden kWp a částka 11 300 Kč za polohovací zařízení.



Obr. 11. Návratnost investice do CPV výroby při vlastní spotřebě 70%

Pokud by předpokládaná spotřeba klesla na 40 % za stejných podmínek jako u předchozího případu, návratnost by se pohybovala až za předpokládanou životností výroby (viz obr. 12).



Obr. 12. Návratnost do CPV výroby při vlastní spotřebě 40%

Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit ucelený přehled dostupných koncentrovaných fotovoltaických systémů a zpracovat přehled všech komerčně dostupných koncentrovaných fotovoltaických systémů. Dále tato práce byla zaměřena na zhodnocení všech dostupných informací a následně byl vytvořen návrh optimálního řešení využití koncentrovaných fotovoltaických systémů. První část bakalářské práce se zabývala technickými a konstrukčními parametry křemíkových a koncentrovaných systémů, dále jejich charakteristickými vlastnostmi a porovnání obou technologických směrů. V této části byla zmíněna i problematika výroben elektrické energie ze slunečního záření jako celku. Druhá část byla věnována řešerši komerčně dostupných koncentrovaných fotovoltaických panelů se zdůrazněním jejich hlavních rozdílů. Protože společnosti poskytují jen omezené informace, museli být všechny uvedené společnosti kontaktovány a z poskytnutých informací byl vytvořen přehled koncentrovaných fotovoltaických systémů. Většina společností neuvádí cenu za jednotlivé panely ani cenu za W_p a to ani po jejich kontaktování, tudíž bylo nutné v některých případech vytvořit hrubý odhad. Ze zpracovaných informací jsou vidět jednotlivé parametry systémů jejich rozměry, účinnost a výkon. Tyto informace jsou důležité při řešení koncentrovaných fotovoltaických výroben. Poslední část se soustředila na optimalizaci řešení koncentrovaných fotovoltaických systémů. Je zde zhodnoceno, pro které geografické oblasti se nejvíce hodí instalace koncentrovaných fotovoltaických výroben a jsou vybrány panely, které se do daných oblastí nejvíce hodí.

V současné době je koncentrovaná fotovoltaika spíše na ústupu a využívá se pouze v omezeném měřítku nebo pro specifické aplikace. Stále však existuje mnoho inovativních technologií, které mají šanci se v budoucnu uplatnit. Využití technologie koncentrované fotovoltaiky se jeví jako nejvhodnější v oblastech kolem rovníku kde i za nepříznivě vysokých teplot dokáže systém stále pracovat s minimálními ztrátami na účinnosti.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] HISTORIE FOTOVOLTAIKY. *Solareni* [online]. 2014 [cit. 2014-12-04]. Dostupné z: <<http://www.solareni.cz/slunecni-elektrarny/technicke-informace/historie-fotovoltaiky/>>
- [2] SUNNY POWER. *Historie a soucasnost fotovoltaiky* [online]. 2009 [cit. 2014-12-04]. Dostupné z: <<http://www.sunnypower.cz/cs/historie-a-soucasnost-fv>>
- [3] SUNNYTECH. *Historie fotovoltaiky* [online]. 2010 [cit. 2014-12-07]. Dostupné z: <http://sunnytech.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=48&Itemid=54>
- [4] W.E.B VETRINA ENERGIE. *Fotovoltaika* [online]. 2010 [cit. 2014-12-07]. Dostupné z: <http://www.vetrna-energie.cz/energie-zivlu/fotovoltaika_11>
- [5] ELEKTROSS. *PN přechod* [online]. 2012 [cit. 2014-12-08]. Dostupné z: <http://elektross.gjn.cz/soucastky/jeden_prechod/dioda.html>
- [6] ALTERNATIVN9 ZDROJE ENERGIE. *Sluneční elektrárny* [online]. 2014 [cit. 2014-12-20]. Dostupné z: <<http://www.alternativni-zdroje.cz/slunecni-solarni-elektrarny.htm>>
- [7] TERMS. *Křemíkové panely* [online]. 2013 [cit. 2014-12-20]. Dostupné z: <<http://eshop.terms.eu/cz/e-shop/c68830/monokrystalicke-panely.html>>
- [8] BRANDONI. *Hybridní panely* [online]. 2014 [cit. 2014-12-20]. Dostupné z: <<http://www.brandonisolare.com/en/products.php>>
- [9] DREVOSTAVBY. *Základy o fotovoltaice* [online]. 2015 [cit. 2015-1-10]. Dostupné z: <<http://www.drevostavby.cz/cs/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/technicka-zarizeni/2565-zaklady-o-fotovoltaice-4-vysoce-ucinne-panely-cpv>>
- [10] ELCERAM. *Koncentrovaná fotovoltaika* [online]. 2005 [cit. 2015-2-2]. Dostupné z: <<http://www.elceram.cz/cs/vyvoj-koncentrovana-fotovoltaika-cpv.html>>
- [11] ENCYKLOPEDIIE FYZIKY. *Fresnelova čočka* [online]. 2006 [cit. 2015-2-2]. Dostupné z: <<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1534-fresnelova-cocka>>
- [12] ODBORNE CASOPISY. *Příslušenství pro FV elektrárny* [online]. 2009 [cit. 2015-04-03]. Dostupné z: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39402.pdf>>
- [13] ISOFENERGY. *Fotovoltaická elektrárna* [online]. 2009 [cit. 2015-1-2]. Dostupné z: <<http://www.isofenenergy.cz/fotovoltaicka-elektrarna.aspx>>
- [14] FILUTOVA DILNA. *Zapojení článků* [online]. 2013 [cit. 2015-1-2]. Dostupné z: <<http://www.filutovadilna.cz/panely/jak-clanky-zapojit>>
- [15] PV RESOURCES. *Photovoltaic trackers* [online]. 2014 [cit. 2015-04-03]. Dostupné z: <<http://www.pvresources.com/PVSystems/Trackers.aspx>>
- [16] TRAXLE. *Solar tracker* [online]. 2012 [cit. 2015-04-03]. Dostupné z: <<http://www.solar-trackers.com/solar-trackers/what-is-solar-tracker>>
- [17] GREEN RHINO ENERGY. *Concentrating Photovoltaics* [online]. 2013 [cit. 2015-04-03]. Dostupné z: <http://www.greenrhinoenergy.com/solar/industry/ind_06_cpv_modules.php>
- [18] ECN. *CPV technology today and tomorrow* [online]. 2015 [cit. 2015-04-03]. Dostupné z: <<http://www.ecnmag.com/articles/2013/11/cpv-technology-today-and-tomorrow>>
- [19] GREEN RHINO ENERGY. *CPV technology* [online]. 2013 [cit. 2015-04-03]. Dostupné z: <http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv_concentration.php>

- [20] NCT. *Heat pipe cooling of concentrating Photovoltaic systems* [online]. 2014 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <<http://www.1-act.com/heat-pipe-cooling-of-concentrating-photovoltaic-cpv-systems>>
- [21] AZUR SPACE. *Technology* [online]. 2014 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <<http://www.azurspace.com/index.php/en/>>
- [22] ARZON SOLAR. *Products* [online]. 2014 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <<http://www.arzonsolar.com/technology/>>
- [23] AKHTER SOLAR. *Products* [online]. 2008 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <<http://www.akhtersolar.com/products.html>>
- [24] AEST. *Products* [online]. 2011 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <<http://www.aest.it/en/company1.html>>
- [25] ABENGOA SOLAR. *Products* [online]. 2014 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.abengoasolar.com/web/en/nuestros_productos/plantas_solares/plantas-fotovoltaicas/index.html>
- [26] COMPAGNIE DELLE ENERGIE. *Datasheets* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <<http://www.cdenergie.com/m4n/EN/Pages/3/Who-is-CDE.html>>
- [27] CHROMA ENERGY. *Technology* [online]. 2014 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.chromaenergy.in/enr/index.php?option=com_content&view=article&id=80&Itemid=101>
- [28] ELCERAM. *Koncentrovaná fotovoltaika* [online]. 2012 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <<http://www.elceram.cz/cs/vyvoj-koncentrovana-fotovoltaika-cpv.html>>
- [29] MERIDIAN. *Products* [online]. 2014 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <<http://www.hcpv-meridian.com/submount.html>>
- [30] SOLTUNE. *Info* [online]. 2014 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <<http://www.soltunecpv.com/Moreinfo.html>>
- [31] SOLAR SYSTEMS. *Technology* [online]. 2014 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <<http://www.solarsystems.com.au/technology/hcpv-module>>
- [32] SOITEC. *Components* [online]. 2015 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <<http://www.soitec.com/en/products-and-services/solar-cpv/>>
- [33] SEMPRIUS. *Components* [online]. 2014 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <<http://semprius.com/products/reliability/>>
- [34] PACIFIC SOLAR. *Technology* [online]. 2006 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <<http://www.pacificsolartech.com/tech.htm>>
- [35] MORGAN SOLAR. *Sun Simba CPV* [online]. 2015 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <<http://morgansolar.com/>>
- [36] HT SUN. *CPV* [online]. 2015 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <<http://www.htsun.it/>>
- [37] HELIOTROP. *Technology* [online]. 2015 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <<http://www.heliotrop.fr/en-technologie.php>>
- [38] GPIII. *Product* [online]. 2015 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <<http://www.gpiisolar.com/product>>

- [39] EVERPHOTON. *Products* [online]. 2006 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <<http://www.everphoton.com/emobilesupplypowersupply.htm>>
- [40] SOLAR JUNCTION. *Products* [online]. 2011 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.sj-solar.com/about_us/index.php>
- [41] CESI. *Clients: Solar cells* [online]. 2011 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.cesi.it/sectors/solar_cells/Pages/default.aspx>
- [42] SOLERGY. *Products and services* [online]. 2012 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.solergyinc.com/superior-cpv_10c11.html>
- [43] TIANJIN LANTIAN SOLAR TECH. *Products* [online]. 2014 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <<http://tjsolartech.cn/about.aspx?cateid=72>>
- [44] SUNCORE. *Products and services* [online]. 2013 [cit. 2015-05-30]. Dostupné z: <<http://www.suncorepv.com/index.php?m=content&c=index&a=lists&catid=99>>
- [45] SHENZEN YINXUANGSHEN TECHNOLOGY. *Products* [online]. 2010 [cit. 2015-05-30]. Dostupné z: <<http://www.ys-solar.com/e-product.asp>>
- [46] EUROPEAN COMMISSION. *Solar radiation and photovoltaic electricity potential country and regional maps for Europe* [online]. 2012 [cit. 2015-05-30]. Dostupné z: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eur.htm>>
- [47] CESKY METEOROLOGICKY USTAV. *Solar radiation and photovoltaic electricity potential country and regional maps for Europe* [online]. 2014 [cit. 2015-05-30]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/portal/dt?menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_3_Mapy_char_klim>
- [48] SOLARNI VYROBA. *Návratnost investic* [online]. 2013 [cit. 2015-05-30]. Dostupné z: <<http://www.solarnivyroba.cz/navratnost-investice>>