

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Stanovení a vývoj účinnosti FVE v provozu

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Josef PURKRÁBEK**
Osobní číslo: **E12N0030P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Stanovení a vývoj účinnosti FVE v provozu**
Zadávací 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 :

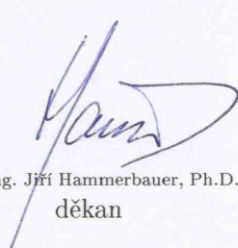
1. Popište základní vlastnosti a technologie fotovoltaických elektráren.
2. Vysvětlete vliv jednotlivých komponent na celkovou účinnost a výrobu FVE.
3. Navrhněte metodiku stanovení a sledování účinnosti FVE během provozu.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:


1. přednášky z předmětu KEE/SOES

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Milan Bělík, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **14. října 2013**
Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2014**


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




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena především na teoretický popis možností jak správně stanovit a sledovat účinnost fotovoltaické elektrárny jako celého celku. Popisuje jak účinnost stanovit a jak provádět sledování v průběhu času. Jsou zde vysvětleny základní principy fotovoltaického jevu. Následuje popis jednotlivých nejdůležitějších komponent elektrárny a vysvětlení jejich vlivu na celkovou účinnost elektrárny. V práci je také obsažen návod jak dosáhnout optimální orientace elektrárny.

V závěrečné části je porovnání účinnosti dvou nejčastěji používaných polohovacích systémů pro uložení fotovoltaických panelů. Toto srovnání pak následuje vyhodnocení provedeného porovnání a souhrn výsledků. V závěru jsou pak zmíněny hlavní chyby a doporučení na co si dát pozor při instalaci elektrárny.

Klíčová slova

Elektrárna, fotovoltaika, panel, účinnost, měření, sledování.

Abstract

This diploma thesis is focused mainly on the theoretical description of the options how to correctly state and pursue the efficiency of the photovoltaic power station as one whole complex. It describes how to state the efficiency and how to pursue it during the time. There are explained the basic principles of the photovoltaic phenomenon. Then there is description of the most important power station components and then the explanation of their influence on the whole power station efficiency. There are the instructions how to reach the optimal power station panels orientation too.

The final part contains the comparison of two most often used moving systems for placing of photovoltaic panels. This comparison is followed by the evaluation of this comparison and by summarizing of the results. In conclusion there are discussed the main mistakes and recommendations on what to watch out for when installing the power station.

Key words

Power station, photovoltaic, panel, efficiency, measurement, monitoring.

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 12.5.2014

Josef Purkrábek

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Milanu Bělíkovi, Ph.D., za jeho vedení při tvorbě práce, cenné připomínky a rady při psaní této práce.

Obsah

OBSAH.....	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	10
ÚVOD.....	11
1 FVE – OBECNÁ CHARAKTERISTIKA.....	12
1.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY FOTOVOLTAIKY	14
1.2 ZÁKLADNÍ PRINCIP, PARAMETRY A VLASTNOSTI FV PANELŮ	14
1.3 KLIMATICKÉ PODMÍNKY V ČR Z POHLEDU FV	16
2 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ FV PANELŮ.....	17
2.1 MONOKRYSTALICKÉ PANELY	17
2.2 POLYKRYSTALICKÉ PANELY.....	20
2.3 AMORFNÍ PANELY	21
2.4 SHRNUKŮ GENERACÍ FV PANELŮ.....	22
2.5 DŮLEŽITÉ OBECNÉ VLASTNOSTI ČLÁNKŮ.....	23
3 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI A TECHNOLOGIE FV ELEKTRÁREN.....	33
3.1 POPIS KOMPONENT FV ELEKTRÁRNY	33
3.2 PANELY A JEJICH ÚČINNOST	33
3.3 POUŽÍVANÉ VODIČE.....	34
3.4 STŘÍDAČE	34
3.5 PŘIPOJENÍ DO ROZVODNÉ SÍTĚ.....	37
3.6 MAXIMALIZACE VÝROBY, PŘEHLED MOŽNOSTÍ	38
4 METODIKA STANOVENÍ ÚČINNOSTI.....	39
4.1 STANOVENÍ SPRÁVNÉHO NATOČENÍ A ÚHLU PANELU	39
4.2 ČASOVÁ ZÁVISLOST IDEÁLNÍHO ÚHLU NÁKLONU	40
4.3 TEPLOTA A CHLAZENÍ PANELU	40
4.4 SNÍŽENÍ ZTRÁT POMOCÍ ANTIREFLEXNÍCH VRSTEV	41
4.5 ČÍSELNÉ VYJÁDRĚNÍ ÚČINNOSTI	43
5 SLEDOVÁNÍ ÚČINNOSTI FVE V PROVOZU	44
5.1 POSOUZENÍ VLIVU OKOLNÍHO PROSTŘEDÍ	47
5.2 POROVNÁNÍ SLUNEČNÍCH PODMÍNEK V ČR A VE SVĚTĚ	47
5.3 POROVNÁNÍ SYSTÉMŮ PRO ZLEPŠENÍ ÚČINNOSTI	49
5.4 NAKLÁPĚNÍ PANELU V JEDNÉ A VE DVOU OSÁCH.....	50
5.5 POROVNÁNÍ ÚČINNOSTI STATICKÉHO A DYNAMICKÉHO ULOŽENÍ PANELU	51
5.6 SYSTÉMY ZRCADEL, KONCENTRÁTORY	52
5.7 MATERIÁLNÍ DEGRADACE V ČASE	53

6	UKÁZKA REÁLNÝCH FV ELEKTRÁREN.....	54
6.1	FOTOVOLTAICKÝ PARK S RŮZNÝMI TYPY NOSNÝCH KONSTRUKCÍ	54
6.2	PŘÍKLAD NA POROVNÁNÍ VYROBENÉ ENERGIE UKÁZKOVÉHO SOLÁRNÍHO PARKU	54
	ZÁVĚR.....	59
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	60
	PŘÍLOHY	1
	A – FLASH REPORT DODÁVANÝ S FV PANELE	1
	B – FOTODOKUMENTACE NOSNÝCH KONSTRUKCÍ	2

Seznam symbolů a zkratek

ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČR.....	Česká republika
EVA.....	Etylenvinylacetát
FV	Fotovoltaika
FVE	Fotovoltaická elektrárna
MPP	Maximum power point
P [W]	Výkon
STC.....	Standard test conditions
STP	Standardní testovací podmínky
t [h]	Čas
λ [nm]	Vlnová délka
FF [-].....	Činitel plnění, Fill Factor
P [Wp]	Maximální špičkový výkon
MPPT.....	Maximum power point tracker
ELCD.....	Electroluminescence Crack Detection Test

Úvod

Potřeba elektrické energie celosvětově neustále stoupá a zásoby fosilních paliv se s přibývajícím časem ztenčují čím dál více. Proto je potřeba neustále hledat a vyvíjet alternativní zdroje energie, které nám v budoucnosti budou schopné zajistit dostatečné množství, tolik potřebné a pro pohodlný život důležité elektrické energie.

S rychlým vývojem celého fotovoltaického odvětví se zvyšuje také celkový počet instalací celých fotovoltaických elektráren různých velikostí. Ceny se postupem času snižují a proto se přepokládá, že toto odvětví má před sebou slibnou budoucnost jako alternativní obnovitelný zdroj energie.

Tato diplomová práce má za cíl popsat jak fotovoltaická elektrárna pracuje jako celek. Další důležitý popisovaný problém, který se u fotovoltaických elektráren vyskytuje, je jejich účinnost. I když s vývojem nových technologií dochází k neustálému zdokonalování jednotlivých komponent a zvyšování celkové účinnosti, je potřeba elektrárny správně udržovat a optimalizovat tak jejich výkon.

1 FVE – Obecná charakteristika

Fotovoltaická elektrárna je systém složený z mnoha komponentů a celé zařízení je primárně určeno pro výrobu elektřiny. Vyrobena elektřina pak může být spotřebována přímo v místě výroby ostatními aplikacemi, které jsou závislé na elektrické energii. Jednotlivé aplikace přitom mohou běžet v takzvaném ostrovním režimu a být zcela nezávislé na distribuční síti. Tato možnost je však spíše sekundární díky tomu, že v tomto případě také musí být vyřešeno jak zpracovat přebytek energie pokud není možné v reálném čase spotřebovat všechnu vyrobenou energii. Ekonomicky výhodnější se tak jeví možnost připojení elektrárny do distribuční sítě. Přenos vyrobené elektřiny přes distribuční síť do vzdálenějších odběrných míst, kde opět dojde ke spotřebování vyrobené energie. [1]

Fotovoltaické elektrárny procházejí v posledních letech velmi intenzivní expanzí, která je velmi medializována. Tuto medializaci vyvolalo především schválení zákonů umožňujících příliš štědré dotování vyrobené elektrické energie. Tyto dotace jsou pro výrobce nastaveny velmi benevolentně a kvůli těmto nekvalitním zákonům nastartoval doslova boom těchto zdrojů energie.

Aby bylo možné v plné míře uspokojit nároky všech lidí na potřebu energie je nutné energii nějakým způsobem získávat. Pokud se tedy zamyslíme, jaké jsou možnosti, dojdeme k závěru potřeby nových zdrojů energie. Jako nejjednodušší a také jako jedno z historicky nejstarších řešení se jako první nabízí obyčejné spalování fosilních paliv. Tyto zásoby se však zde na Zemi vytvářely miliony let a jejich dobývání je tak tedy nyní několikanásobně rychlejší než jejich tvorba. Z toho je patrné, že tyto zdroje nejsou nekonečné. Jejich zásoba na planetě se neustále zmenšuje a jednoho dne přijde okamžik, kdy již nebude možné energii získávat tímto způsobem, protože prostě nebude kde těžít další suroviny. I když to tak nyní nevypadá, tento okamžik se neodvratně blíží. Důsledkem spalování těchto fosilních paliv jsou také velmi negativní dopady na životní prostředí na Zemi a s tím spojené také podmínky pro život člověka. Tyto podmínky se díky působení člověka neustále zhoršují a je potřeba je nějakým způsobem řešit. Souvislost mezi působením člověka a zhoršováním podmínek života na Zemi však zatím není dostatečně dokázána, tudíž zatím nelze s jistotou tvrdit, že je určitá souvislost mezi působením člověka a například oteplováním Země. [2]

Možností jak energii získat je samozřejmě mnoho, například již zmíněné spalování fosilních paliv, energie z jádra nebo nějaký způsob pomocí obnovitelných zdrojů. Jako jedna ze zajímavých alternativ se nabízí myšlenka energii získávat ze slunečního záření dopadajícího na zemi. Jako nejzajímavější forma energie se zatím jeví elektřina z důvodu její poměrně snadné transformovatelnosti a poměrně jednoduchému rozvádění a využití. V zájmu ochrany přírody a udržitelnosti kvality životního prostředí by mělo být naším cílem se snažit o snižování potřeby elektrické energie. Toto snižování spotřeby a její úspora se však příliš nedaří, protože celosvětově spotřeba elektrické energie neustále roste a proto je nutné tvořit další a další zdroje pro výrobu elektřiny. [2]

Pokud tedy opět zapřemýšlíme, jaký zdroj energie je perspektivní pro budoucnost, neměli bychom zapomínat na energii, která na nás dopadá a je téměř všude kolem nás. Tedy na energii ze Slunce. Sluneční záření dopadající na Zemi, pokud budeme uvažovat záření dopadající svisle na atmosférický obal Země, je po přepočtení na průměrnou hodnotu přibližně 1367 W/m^2 . Tato hodnota je však bohužel ještě zmenšena tím, že veškeré dopadající záření neprojde přímo až na povrch Země. Při průchodu se některé části záření odrazí, pohltí, anebo rozptýlí. V ideálních podmínkách tak tedy můžeme na zemském povrchu získat až 1000 W/m^2 . Tuto hodnotu tedy můžeme použít jako vztažnou hodnotu pro naše další výpočty, které budou z této hodnoty vycházet a pracovat s ní. [2]

Pod tímto číslem si samozřejmě lze jen velmi těžko něco reálného představit a tak stojí za to se zamyslet a pro vysvětlení a lepší představu si pár hodnot porovnat, aby bylo zcela jasné, o kolik energie ve skutečnosti jde. Průměrná hodnota spotřebované elektrické energie v rodinném domě pokud elektřinou také netopí je někde kolem 4 MWh za jeden rok. Zde je ještě potřeba zmínit, že výpočet energie je tedy výkon krát čas. Pak je tedy jednotkou energie Wh, případně spíše kWh nebo MWh. [2]

Na rodinný dům s běžnou zastavěnou plochou za jeden rok průměrně dopadne 100 MWh [1]. Pokud tedy toto číslo porovnáme s průměrnou hodnotou spotřebované energie, tedy s 4 MWh je pak z tohoto srovnání patrné jak velké množství energie se nabízí k využití. Dnešním největším problémem tedy je jak dopadající energii efektivně zpracovat pro další využití. Právě v tomto množství energie, které je k dispozici je potřeba vidět budoucnost fotovoltaických panelů a jejich využívání pro získávání potřebné energie. [2]

1.1 Úvod do problematiky fotovoltaiky

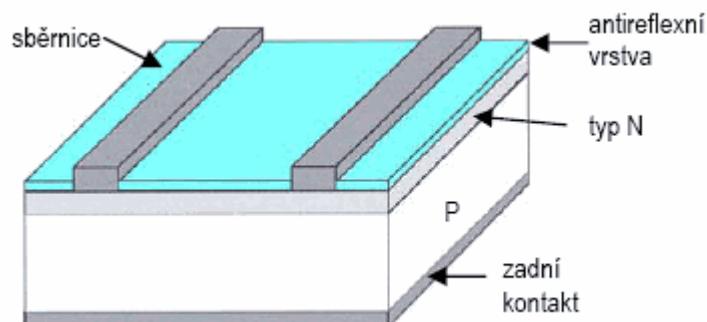
V předchozí kapitole jsem se pokusil nastínit, proč je vývoj a používání fotovoltaických panelů jedna z budoucích perspektivních možností pro získávání energie ze Slunce. Abychom lépe porozuměli funkci přeměny energie, je potřeba nejprve správně pochopit, na jakém principu vlastně fotovoltaický panel funguje. [2]

První zmínka o tomto typu přeměny je patrně z roku 1839 při náhodném objevu mladého francouzského fyzika Alexandra Edmonda Becquerele. Ten si při svých pokusech všiml toho, že pokud dojde k osvětlení kovových elektrod ponořených do elektrolytu, začne procházet velmi malý proud. Toto byl patrně první náznak tuto myšlenku dál rozvádět. Následovalo pak mnoho vědců, kteří se tímto zabývali a postupně technologii vylepšovali. Patrně největší zlom přišel v době, kdy bylo potřeba zajistit napájení pro vesmírné družice. I když se stále jednalo o poměrně velmi drahou technologii s nijak dobrou účinností, bylo to v podstatě jediné reálné řešení jak energii ve vesmíru získávat. Jelikož pro tyto účely, většinou nebývá cena příliš velký problém, mohla se postupně zdokonalovat výroba těchto panelů. S čím dál více zvládnutou technologií výroby samozřejmě klesala i finanční náročnost výroby a to zapříčinilo velmi pomalé, postupné zlevňování finálních vyrobených panelů. S klesající cenou samozřejmě velmi rychle rostla i oblast využití a rozšíření této technologie. Bouřlivý vývoj však tato problematika zaznamenala především po roce 2000 a hlavně pak v posledních deseti letech. Mnoho států totiž má potřebu snížit svoji závislost na ropě a vylepšit tak svoji energetickou soběstačnost. To má za následek podpůrné investice do oblasti výzkumu, vývoje a vylepšujících inovací při výrobě fotovoltaických panelů a jejich následnému masovému rozšíření pro generování elektrické energie. [2]

1.2 Základní princip, parametry a vlastnosti FV panelů

Hlavním cílem proč se snažíme tvořit fotovoltaické panely je získání energie a její následný převod na typ, který dokážeme lépe zpracovat. To znamená, že se snažíme získanou energii transformovat na elektrickou energii. Abychom mohli získat elektrickou energii, potřebujeme jen základní dvě části. Tedy dostatek volných elektronů a tok elektrického potenciálu ze zdroje do spotřebiče. Z fyzikálních vlastností materiálů je tedy potřeba vybrat takový materiál, který disponuje dostatkem volných elektronů a cílem je tedy tyto elektrony následně rozpohybovat. [2]

Pro pohyb elektronu je potřeba energie a tím je specifikován tento řešený problém. Albert Einstein záření, které při určitých podmínkách vypadá jako proud částic, nazval fotony. Právě foton má tu vlastnost, že dokáže předat energii elektronům. Tato vlastnost se jeví jako klíčová pro řešení problému. Pokud bychom našli správný materiál, který by dokázal stoprocentně absorbovat všechny fotony a přeměnit je, na jiný typ energie, je zadaný problém úspěšně vyřešen. Nalezení tohoto materiálu však není tak triviálně jednoduché. Pro správnou funkci celého systému je potřeba od sebe separovat elektrony a díry. Tato separace je problémová především v kovech a proto se použití polovodičů jeví jako vhodnější volba. Právě v polovodičích je totiž možné tento děj vytvořit snadněji. Zástupce polovodičových prvků nelze zařadit do skupiny kovů, respektive vodičů, ani do skupiny nevodivých materiálů. Tyto polovodičové prvky tvoří svoji samostatnou skupinu se specifickými elektrickými vlastnostmi patřící mezi skupiny vodičů a nevodivců. V této skupině je totiž možné vytvořit p-n přechod. Tento typ přechodu je základním stavebním kamenem veškeré současné moderní elektroniky a stojí i za vyřešením problému přeměny energie ze slunečního záření na energii elektrickou. Potřeba pochopení této problematiky je naprosto zásadní pro korektní řešení zadaného řešeného tématu. [2] [7] [10]



Obr. č. 1 Struktura PN přechodu ve FV panelu. [24]

1.3 Klimatické podmínky v ČR z pohledu FV

V České republice je v ročním úhrnu slunečního záření poměrně široké spektrum hodnot. Přibližně od 940 W/m^2 , v horských oblastech většinou lokalizovaných blízko severní až severozápadní hranice ČR, až po přibližně 1340 W/m^2 , které se typicky dosahuje ve slunných oblastech jižní Moravy. [3]

Právě vhodnost lokality pro umístění fotovoltaické elektrárny je jeden z klíčových parametrů. Pro porovnání je zajímavé si srovnat podmínky například ve Španělsku, Řecku a podobných zemích. Podrobnější srovnání bude uvedeno v následujících kapitolách a zde se práce zaměří spíše na oblasti v České republice. Jak již bylo v předchozích kapitolách zmíněno, tak díky geografické poloze naší Země na severní polokouli, zde nepanují natolik příznivé podmínky jako v oblastech kolem rovníku, nicméně i u nás je možné elektřinu ze Slunce pomocí fotovoltaických panelů vyrábět. [3]

Roční úhrn sluneční energie, která dopadne na Zemi, je ovlivňován mnoha faktory. Mezi tyto ovlivňující faktory patří například umístění a natočení fotovoltaických panelů, nadmořská výška, doba slunečního svitu, ale také čistota ovzduší a s tím spojená prašnost okolí. [4] [5]

2 Základní rozdělení FV panelů

Jednotlivých typů panelů je na trhu samozřejmě více druhů a výrobců FV panelů je velmi mnoho. Pro lepší orientaci v problematice je však potřeba znát alespoň základní typové rozdělení panelů. V této kapitole a podkapitolách budou podrobněji rozebrány základní typy běžně používaných fotovoltaických panelů a uvedeny jejich specifické vlastnosti, především se zaměřením na jejich účinnost.

Různé typy panelů lze od sebe na první pohled rozlišit již jen podle vzhledu. Mohou se lišit jak svým tvarem, tak i barvou a především hlavně svými vlastnostmi. V následujících kapitolách budou shrnuty nejdůležitější parametry jednotlivých typů. Jelikož na trhu zatím dominují, především články na bázi krystalického křemíku práce se zaměří především na tyto typy. V elektrotechnice je křemík již poměrně známý a velmi dobře prozkoumaný prvek. Na Zemi je také velmi rozšířený což z něj dělá vhodný a dostupný materiál.

2.1 Monokrystalické panely

Hlavním rysem monokrystalických článků je fakt, že jsou složeny z jednoho jediného krystalu. Odtud je také logicky odvozen název tedy monokrystalické panely. Opět stejně jako u polykrystalických jsou články obvykle čtvercové nebo také mohou mít tvar čtverce se zaoblenými rohy. Z hlediska účinnosti jsou však kulaté rohy trochu problematické, díky hůře využití ploše. Právě díky zaobleným rohům, tak opět dochází k nepatrnému snížení využití celkové plochy, a tím pádem celé účinnosti výroby. Zakulacenost článků tak způsobuje, že články, které jsou takto následně pokládány do pravoúhlých modulů, nejsou kvůli své nižší účinnosti příliš rozšířeny. Pravděpodobně jediný možný případ využití tohoto typu s oblými rohy je tedy tam, kde je žádoucí nezakrývat celou plochu. Tím je myšleno například případy, kdy je žádoucí, aby za panely procházelo alespoň minimum slunečního svitu, nebo je požadována alespoň nějaká minimální průhlednost. V tomto případě má použití tohoto typu své jasné opodstatnění a je dokonce vhodnější ho zde použít, z důvodu lepšího využití materiálu při výrobě. Oblé rohy jsou totiž řezány z kulatých tyčí. Tím se na jednu stranu zvýší využití plochy a na druhou stranu sníží spotřeba materiálu.[6] [15]

Barva monokrystalických článků je dána především tím, že je celý článek vyroben z jednoho krystalu. Barva povrchu je tak většinou jednobarevná v tmavě modrém až černém odstínu. Z elektrického hlediska je na tom tento typ oproti polykrystalům o trochu lépe díky,

udávané průměrné účinnosti mezi 15 až 17 %. Nejlepší články mohou běžně dosahovat účinnosti dosahující až 21 procent. [15]

Pro výrobu těchto typů článků se ve většině případů používá takzvaná Czokralskiho metoda. Tato metoda pracuje s poměrně vysokou teplotou přesahující 1400 °C. Proto je tato metoda poměrně velmi energeticky náročná. Opět stejně jako u polykrystalických typů se i zde při výrobě nejprve z kulaté tyče udělá ořezem tyč čtvercová. Tato čtvercová tyč je pak následně opět rozřezána na jednotlivé destičky. Právě při ořezu kulaté tyče na čtyřhrannou zde dochází k poměrně velkým ztrátám křemíku. Další velké množství odpadního křemíku vzniká opět při dalším řezání na již zmíněné jednotlivé destičky. Výsledné destičky opět mohou být ořezány na výsledný tvar, který může být téměř libovolný. Mezi standardně vyráběné například patří kruhové, čtvercové nebo polo čtvercové destičky. [2] [14]



Obr. č. 2 Ukázka monokrystalického panelu se svým typickým zabarvením [18]

Vyrobené destičky již obsahují dotaci příměsi typu p, a opět se ještě zadotuje velmi slabý film fosforu. Ke kompletaci celého článku již chybí pouze dodat kontaktní a antireflexní vrstvu a kontaktní palce. Po dokončení této operace se již článek může považovat za hotový. [2][15]

Účinnost tohoto článku zlepšuje především již zmíněná antireflexní vrstva z výroby. Tato vrstva následně umožňuje, aby povrch článku odrazil co možná nejméně dopadajícího světla zpět. Snížením odraženého světla se tak zvyšuje množství světla, umožňující přeměnu na elektrickou energii. Toto je poměrně zajímavá možnost jak poměrně snadno ještě zvyšovat celkovou účinnost. Proto se výrobci panelů na tuto technologii antireflexních vrstev také zaměřili. Existují různé druhy vrstev, které je možné ještě dále kombinovat s antireflexními skly. Tato skla pak překrývají celou plochu všech článků v panelu. Na povrchu článků je možné vyrábět různé typy malých struktur, různých tvarů i technologií. Mezi používané tvary se řadí například tvary pyramid nebo naopak různých typů rýh. Tyto struktury pak mají naopak za úkol světlo pohlcovat, a tím ještě více snižují celkovou reflexivnost. [2]

Další možností jak zlepšit účinnost je výroba solárních článků, které jsou vysoce výkonné. Aby se dosáhlo takto výkonných článků, je potřeba zajistit, aby i zdrojové materiály byly dostupné ve vysoké čistotě. Články vyrobené z takto čistého materiálu pomocí specifické metody, kdy se pomocí zonální tavby a pomocí magnetického pole, lze ještě zvýšit účinnost vyrobených článků o jedno až maximálně dvě procenta. Tato úprava pomocí již zmíněné zonální tavby je však bohužel poměrně pracnější a tím pádem také dražší. Zajímavým počinem v této oblasti je pak článek s označením HIT. Jde o hybridní koncepci článku kdy je na monokrystal oboustranně nanášena ještě další vrstva amorfního křemíku. S touto technologií výroby je možné dosáhnout účinnosti přesahující 20 procent. Článek lépe využívá energii při vyšších teplotách a dokáže zpracovávat širší oblast spektra dopadajícího záření. [2]

Mezi možnostmi jak zvýšit účinnost těchto panelů se řadí také ještě například přidávání kontaktů na zadní stranu. Díky tomu tak lze vyrobit články, které mají veškeré kontakty výhradně na zadní straně, a tím se opět zvýší celková účinnost. Je pak možné vyrobit články s účinností přesahující až 21 %. Kontaktování většinou probíhá na základě laserové technologie. [2]

Se zvyšujícím se objemem výroby pak klesá i cena za technologii výroby. Pokud tedy budeme poměrově uvažovat náklady na výrobu tak se poměr začíná otáčet. Dříve převyšovala cena technologie před cenou samotného křemíku ale nyní díky snížením nákladů na výrobu se cena technologie tak snížila, že největší náklady nyní zaujímá křemík jako zdrojový prvek. [15]

2.2 Polykrystalické panely

Slovo polykrystalické lze také vysvětlit jako více krystalové nebo mnoho krystalové články. Nejjednodušší možnost jak poznat právě polykrystalický článek může být například podle barvy. Jedná se o modře se lesknoucí krystalické struktury. Obvykle mají čtvercový tvar a mohou mít, ale různé rozměry. Typická velikost je čtverec o délce hrany 15,6 cm. [2]

Díky jinému postupu výroby oproti monokrystalickému je možné polykrystalický panel vyrábět levněji a také méně komplikovaně. Patrně nejpoužívanější metodou pro výrobu je takzvaná metoda blokového lití. Zahřátím a postupným regulovaným chlazením se vytvoří křemíkové kvádry. Následně pak dochází k rozřezání na jednotlivé desky. Tím, že se z kvádry řezají jednotlivé desky, také dochází k úspoře materiálů, protože lze snížit množství odpadu při výrobě. Toto je také jedna z možností jak dosáhnout větší efektivity při výrobě a tím pádem také nižší celkové konečné ceny panelů. [6] [16]

I při výše uvedeném postupu však dochází ke ztrátám, které je možné eliminovat. Těmito ztrátami je myšlen odpad při řezání kvádry. Řezání je při tomto typu výroby nevyhnutelné a tak jsou snahy tento proces omezit. Pokud budeme uvažovat myšlenku, že by nedocházelo k dělení materiálu řezáním, ale nějakým jiným způsobem znamenalo by to eliminaci problému. Jiný způsob dělení materiálu by mohlo být například přímo tažení slabých pásů přímo z roztaveného křemíku. Tímto způsobem se připraví již hotový pás s požadovanou tloušťkou přibližně 0,1 mm. Následně již stačí opět jen pásy nařezat na vhodnou velikost požadovaných destiček. Toto je opět jedna z možných cest, jak dosáhnout úspor při výrobě a opět další zvýšení efektivity výroby. Pro ještě další zlepšení se v praxi využívá toho, že se vytahuje více pásů najednou. Například na osmihranném tvarovaném nosiči, tak je možné vytáhnout osmihrannou „trubku“ o délce až jeden metr. Délka hrany již rozřezané destičky pak činí 12,5 cm a střední síla stěny činí přibližně 0,28 mm. Tímto způsobem se dosahuje ztrát menších než 10 %. Účinnost takto vyrobených článků pak ve výrobě činí 14,5 %. Další možný postup je postupné zdokonalování této metody, aby bylo možné najednou vytáhnout více než osmihran (oktaedr), tedy například dvanáctihran. Tím se opět dosáhne dalších úspor při výrobě.[2]

Účinnost těchto panelů se pohybuje kolem 13 až 16 procent. Při laboratorních podmínkách je možné dosáhnout maximální účinnosti dosahující až 20 procent. Tento typ článků se samozřejmě ještě dále může zlepšovat a zdokonalovat. Možnosti zlepšení jsou ještě možné v metodě výroby článků. Mezi hlavní výhody těchto typů panelů se řadí především nepatrně levnější výroba a skutečnost, že je možné vyrobit články o větších rozměrech.[2]



Obr. č. 3 Vzhled polykrystalických panelů [18]

Mezi největší nevýhody tohoto typu panelů se pak řadí větší velikost jednotlivých krystalických kusů a tím pádem také větší hodnotou odporu na kontaktních plochách. Tato větší hodnota má pak samozřejmě za následek snížení celkové účinnosti panelu. [2]

2.3 Amorfnní panely

Poslední typem panelů, o kterém by dle mého názoru bylo vhodné se zmínit, jsou amorfnní fotovoltaické panely. V dnešní době ještě stále nepatří mezi příliš rozšířené, jsou však zajímavou alternativou do budoucnosti, protože jejich výhody začínají převažovat nad nevýhodami. Mezi hlavní výhody patří především menší snížení účinnosti v letních měsících kvůli zahřívání panelu. Pokles účinnosti při vyšších teplotách není tak výrazný jako u poly nebo monokrystalických panelů. Mezi další výhody pak patří především vysoká odolnost proti mechanickému poškození, kdy je přední i zadní strana typicky kryta sklem a odolnost tak dosahuje odolnosti střešních oken. Mezi další výhody se pak řadí například, že při částečném zastínění nedochází k výpadkům celých modulů jako celků. To je dosaženo tím,

že články jsou seřazeny do úzkých, ale poměrně dlouhých modulů. Mezi poslední zajímavé výhody pak také patří například to, že amorfní články neobsahují letované spoje. Články jsou pospojovány již při výrobním procesu. Při pohledu na celkovou vyrobenou a dodanou energii za dané časové období, pak mohou v souhrnu amorfní články dosahovat ještě většího množství vyrobené energie v porovnání oproti mono nebo polykrystalickým článkům. Což je zvláště zajímavý údaj. Toho je dosaženo především tím, že články jsou schopné pracovat i při pouhém rozptýleném tedy difuzním světle a nepotřebují tak pro svoji činnost přímé sluneční záření. Mezi hlavní nevýhody pak patří především nutnost větší plochy pro instalaci panelů a nepatrně vyšší náklady na instalaci. V dřívějších dobách se také zmiňoval fakt, že poměrně rychle dochází k degradaci článků. Při pohledu do současných katalogů však výrobci již pro nové články garantují i po 20 letech stále více než 80 % účinnost. Což je ovšem stále těžko ověřitelný údaj. [22]

2.4 Shrnutí generací FV panelů

Hranice jednotlivých dělení typů různých článků nejsou příliš přesně definovány a každý autor na toto rozdělení může nahlížet z trochu jiného úhlu pohledu. Klasické třídění jednotlivých typů tedy není nijak závazné, a proto se tato práce bude zabývat spíše klasickým rozdělením, které patří mezi nejběžněji uváděné.

Typicky tedy do první generace článků bývají zařazovány klasické panely z krystalického křemíku. Tedy články polykrystalické i monokrystalické, kde se jedná pouze o rozdílnou technologii výroby. Druhá generace panelů se primárně zaměřuje na snížení nákladů téměř bez ohledu na cokoliv. Stále se však jedná o technologii primárně využívající křemík. Sem lze zařadit především aplikace tenkých vrstev a amorfního křemíku. V této generaci je především kladen důraz právě na již zmiňované omezení nákladů na výrobu. Případně sem lze také zařadit technologie mikrokrystalického křemíku. Poslední poměrně velkou skupinou jsou články označované jako třetí generace. Tato generace má za cíl zvýšení účinnosti a chce toho dosáhnout použitím jakékoliv technologie. Někteří autoři v tomto dělení článků ještě nadále pokračují. Články, které obsahují více vrstev na sobě tak je možné nazývat jako články čtvrté generace. Pátá generace pak používá jiné materiály při výrobě. A zvláště u těchto článků je snaha o využití jiného fyzikálního jevu, než je používaný fotovoltaický jev. [15]

Tab. č. 1 Jedno z mnoha možných dělení generací FV panelů

Generace	Technologie	Cíle
1.	Krystalický křemík	Monokrystal, polykrystal
2.	Krystalický křemík	Snaha o snížení nákladů
3.	Libovolná technologie	Zvýšení účinnosti
4.	Vícevrstvé články	
5.	Další nové materiály	

2.5 Důležité obecné vlastnosti článků

V současné době je možné říci, že monokrystalické články patří mezi nejvíce rozšířené a používané typy. Přibližným odhadem lze tvrdit, že 90% všech fotovoltaických křemíkových panelů tvoří právě monokrystalické články. Malou část, která může tvořit přibližně 5 %, jsou panely křemíkové polykrystalické a ostatní zbytek tvoří především tenké vrstvy nebo amorfni články a podobné nové rozvíjející se technologie. Z tohoto tedy je možné vyvodit, že v dnešní době, když se řekne slovo fotovoltaika, téměř vždy pak platí, že se to rovná použití křemíku. Podle zvoleného materiálu se pak samozřejmě odvíjí i šířka zakázaného pásma. [15]

Pro správné porovnávání jednotlivých typů je potřeba porovnávat smysluplné údaje, aby celé porovnání mohlo být objektivní. Toto je velmi důležité, protože pokud bychom porovnávali data z jednotlivých panelů, která však byla naměřena při odlišných podmínkách tak srovnání nebude relevantní a nebude disponovat žádnou vypovídací hodnotou. Proto je potřeba si nejprve pro správné porovnání definovat určité standardní testovací podmínky (STP). Tyto předem definované podmínky vychází ze základních praktických zkušeností a jsou již standardem v této oblasti pro porovnávání jednotlivých typů článků a panelů. Pokud srovnávací měření neproběhne, za definovaných standardních testovacích podmínek, pak nemá měření pro srovnání a posouzení kvality panelu žádný význam. [15]

Definované standardní testovací podmínky:

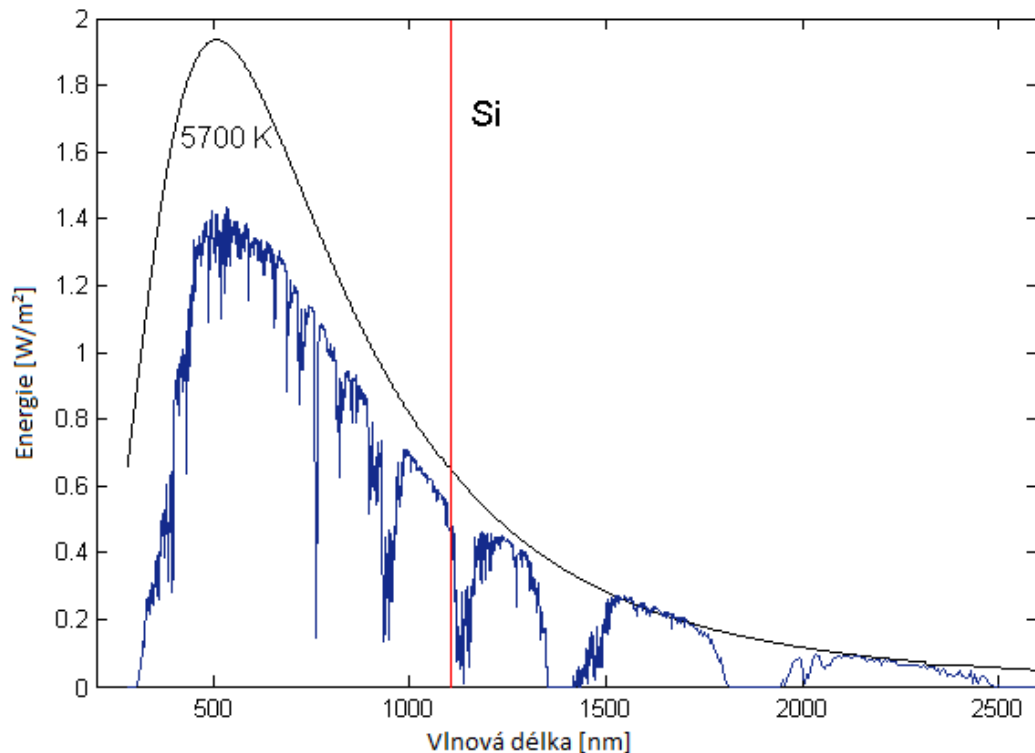
- intenzita záření 1000 W/m²
- spektrum AM 1,5 Global
- teplota článku 25 °C

Při pohledu na tyto kritéria je možné tvrdit, že se jedná o běžně se vyskytující podmínky, které mohou během dne nastat a pravděpodobně také nastanou. Intenzita záření 1000 W/m² není nijak neobvyklá, v podstatě se jedná o intenzitu plného denního Slunce, někdy kolem poledních hodin. Tuto kritérium tedy v našich podmínkách není nijak obtížné splnit.

Druhou položkou STP je spektrum průměrného denního světla označovaného jako spektrum AM 1,5 Global. Jde v podstatě jen opravdu o běžné denní světlo a opět není nijak obtížné splnit i tuto podmínku.

Posledním parametrem pro měření při standardních testovacích podmínkách je teplota článku 25 °C. Zde je potřeba si správně uvědomit, že se jedná o teplotu článku a nikoliv o teplotu okolí. Tento parametr se opět zdá jako poměrně snadno splnitelný. V provozu však dochází k tomu, že se články poměrně intenzivně ohřívají a to je potřeba při měření hlídat. Z tohoto je patrné, že hodnoty naměřené při standardních testovacích podmínkách nemusí vůbec odpovídat hodnotám naměřeným v reálném provozu. Nyní je potřeba si uvědomit co z tohoto měření prakticky vyplývá. Výrobce dodá panel, který je změřen při těchto definovaných standardních testovacích podmínkách a může naměřit například účinnost blízká se téměř 17 %. V reálném provozu je pak ale pravděpodobné, že při jiných podmínkách, typicky v letním období kdy se články poměrně intenzivně zahřívají, bude možné naměřit reálnou účinnost i pod 10 %. To vše právě díky jiným podmínkám okolí, než při jakých byl článek původně měřen. Výrobce specifikuje účinnost na setiny procent, ale v reálném provozu je možné tedy naměřit i účinnost o celé jednotky procent menší a to je dost podstatný rozdíl. Právě toto je potřeba zohledňovat při samotném návrhu celé fotovoltaické elektrárny a mít vše správně naplánované a vypočítané. Výpočty je samozřejmě nutné optimalizovat i vzhledem k ekonomickému rozvrhu celého projektu, aby vše co nejvíce věrně odpovídalo skutečnosti. Na druhou stranu, ale nelze například panel reklamovat jen z důvodu, že při jiných než

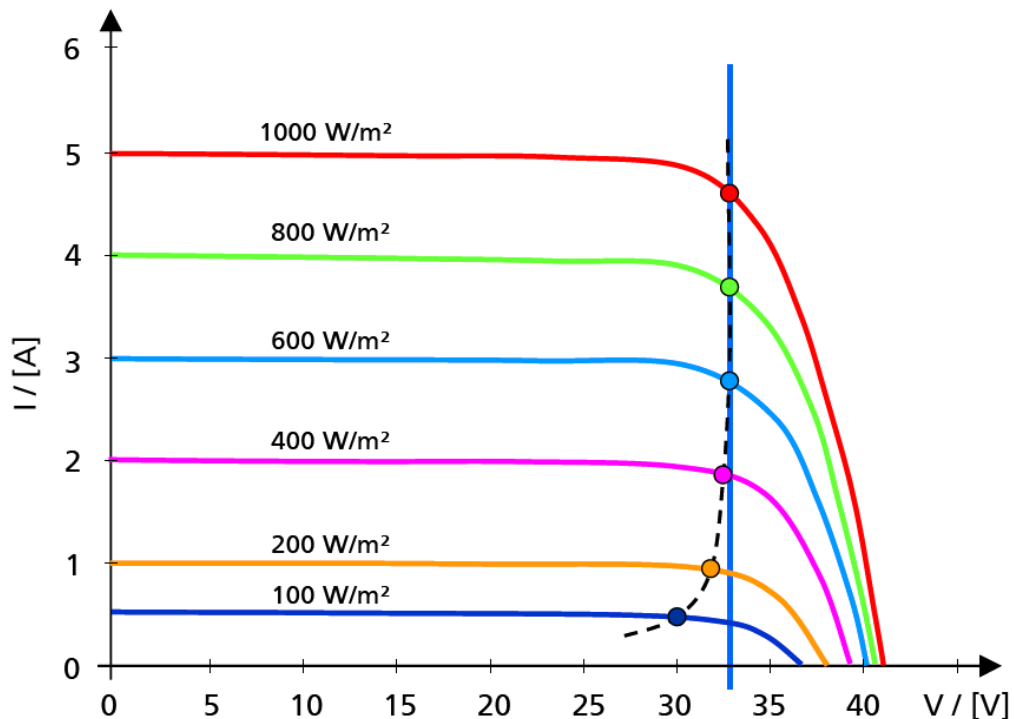
standardních testovacích podmínkách nedosahuje katalogových parametrů. To znamená, že parametry a hodnoty naměřené za STP se mohou diametrálně odlišovat od běžného provozu v praxi. Je patrné, že v reálném provozu budou podmínky patrně téměř vždy horší než standardní testovací podmínky.



Graf č. 1 Zobrazení spektra AM 1,5 Global s vyznačeným Si. [20]

Z grafu běžné VA charakteristiky fotovoltaického článku je možné určit několik věcí. Na ose x je napětí ve voltech, na ose y je proud v ampérech. Tvar křivky je pro většinu fotovoltaických panelů velmi podobný. Z celého grafu je pro nás stěžejní především velikost maximální možné dodané energie a výkon. Tento výkon definuje maximální velikost plochy obdélníku, který je možné protnout pod křivku fotovoltaického panelu. Pravý horní bod tohoto obdélníku je pak součin maximálního proudu a maximálního napětí. Pro naprostou většinu článků platí, že bod maximálního výkonu se nachází někde v ohybu křivky v grafu. Tyto parametry pak velice ovlivňují celkovou kvalitu výsledného článku. Celková kvalita celého článku a také panelu pak velmi závisí právě na použité technologii.

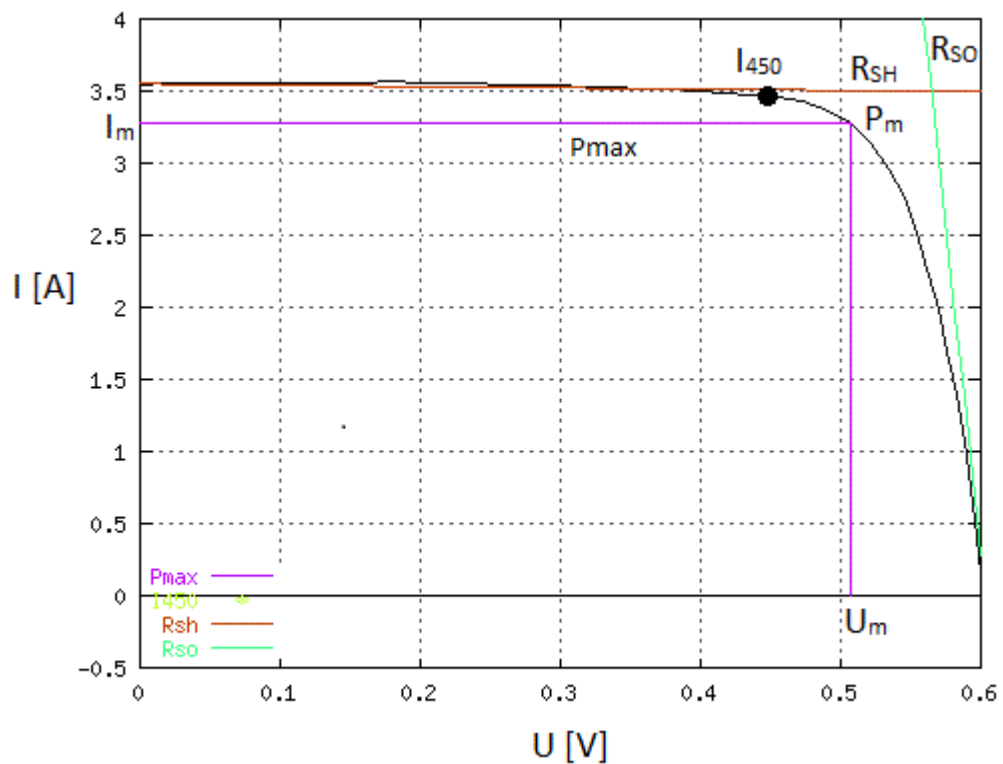
Tato voltampérová charakteristika by se měla měřit pro každý již hotový panel zvlášť a měla by být dodána spolu s každým panelem zvlášť. I když všechny články jsou vyrobeny ze stejného materiálu a samozřejmě stejnou technologií, tak všechny články nejsou stejné a každý z nich je nepatrně jiný a tedy originál.



Graf č. 2 VA charakteristika pro různé úrovně osvitu. [19]

Z následujícího textu bude dobře patrné, jaký je rozdíl mezi kvalitním a účinnějším fotovoltaickým článkem oproti méně kvalitnímu s horšími parametry a tedy i horší celkovou účinností. Pro kvalitní nebo ideální článek by mělo platit, že nejprve je křivka téměř rovnoběžná s osou x a klesá jen nepatrně mírně. Pak v ideálním případě je tato téměř vodorovná křivka zakončena krátkým a strmým ohybem. Po tomto ohybu by opět měla křivka kvalitního článku pokračovat opět téměř rovnoběžně s osou y , dokud křivka neprotne osu x . Sklon křivky pak udávají tečny. Pokud tedy tyto tečny doplníme ke křivce fotovoltaického panelu, pak v místě jejich protnutí opět kvalitní články se blíží hranici téměř kolmého úhlu. Sklonem těchto tečen je pak definován sériový odpor článku a svod článku. Napětí naprázdno článku definuje použitý materiál, protože každý materiál bude mít jinou šířku zakázaného pásma a tudíž i jiné napětí. Pro křemíkové články platí, že hodnota napětí je přibližně

0,5 - 0,6 voltu. Plocha pak definuje velikost generovaného proudu. To tedy znamená, že čím větší plocha, tím bude větší také generovaný proud. Z takto definovaných vlastností je pak potřeba si uvědomit, že pokud budeme mít dva grafy s voltampérovou charakteristikou dvou rozdílných článků, tak nelze jen podle této charakteristiky určit, který článek je lepší. Je možné poznat, který článek vyrobí více energie nebo je výkonnější, ale nelze přímo konstatovat, že je lepší, protože pro správné a věrohodné porovnání je potřeba porovnávat i plochu zkoumaných článků. Dalším možným objektivním parametrem pro porovnání kvality panelů může být i například parametr I_{450} . Ten značí proud při napětí 0,45 voltu. Hodnota 0,45 voltu by měla být hodnota blízka ohybu křivky v grafu. Tato hodnota by tedy alespoň přibližně mohla odpovídat hodnotě kolem, které by se článek mohl pohybovat v reálném provozu. Jde tedy o poměrně hrubou porovnávací hodnotu, která nám slouží k poměrně velice rychlé orientaci v parametrech daného článku. Nicméně i přesto tato hodnota nemusí nutně značit nebo zaručovat jakoukoliv jakost článku. Nezáleží na velikosti dosahovaného proudu, ale především na tvaru voltampérové charakteristiky. [15]



Graf č. 3 VA charakteristika. [21]

I_{450} [A] – proud při napětí 0,45 voltu

I_{SC} [A] – zkratový proud

U_{OC} [V] – napětí naprázdno

P_m [W] – maximální výkon, také označovaný jako MPP

I_m [A] – proud, při kterém článek dodává maximální výkon

U_m [V] – napětí, při kterém článek dodává maximální výkon

FF [-] – činitel plnění, určuje se výpočtem

Bodu P_m odpovídají dvě hodnoty. Hodnota zkratová a hodnota maximální. Tyto dvě hodnoty se nerovnají a je potřeba je odlišovat. Je to stejné jako v případě napětí naprázdno a napětí maximálního, kde opět nemusí být nutně shodné hodnoty. [15]

Dalším parametrem, který výrazně ovlivňuje využití dopadajícího záření je takzvaný fill factor. Tato matematicky získaná hodnota naznačuje na kolik je teoreticky využito všechno dopadající záření, které dopadá na plochu instalovaného panelu. [15]

Vzorec pro výpočet parametru fill factor – FF [-]

$$FF = \frac{(I_m \cdot U_m)}{(U_{OC} \cdot I_{SC})} [-]$$

(1)[15]

Nyní by bylo vhodné si podrobněji popsat, co uvedený vzorec vlastně vyjadřuje. V čitateli se násobí hodnoty maximálního proudu a maximálního napětí a dostaneme tak tedy hodnotu okamžitého maximálního výkonu. Ve jmenovateli jsou hodnoty U_{OC} , tedy napětí naprázdno a I_{SC} , tedy zkratový proud, což v součinu dává hodnotu fiktivního teoretického výkonu, protože v praxi nikdy nelze dostat obě tyto maximální hodnoty současně v jeden

okamžik. Nicméně jde o to, že se výpočet snaží pomocí porovnání dvou teoretických výkonů porovnat dosahované hodnoty s hodnotami teoreticky dosažitelnými. Z tohoto tedy vyplývá, že čím vyšší bude hodnota fill factoru, tím by se mělo jednat o lepší článek se strmější voltampérovou charakteristikou. U dobrých článků se tedy hodnota bude blížit jedné a naopak, když bude hodnota více vzdálena od jedné k nule, bude celý článek horší. Je to další z možných srovnávacích parametrů. Maximální možná hodnota je tedy rovna jedné. V běžném provozu je tato hodnota samozřejmě nižší. Samotná voltampérová charakteristika však není statická, ale dynamická. To tedy znamená, že závisí na mnoha parametrech. Mezi hlavní parametry patří například vliv sériového a paralelního odporu. Tyto hodnoty, které ovlivňují tvar voltampérové charakteristiky, však může ovlivnit pouze výrobce, přímo ve výrobním procesu. Běžný uživatel se pak může již jen seznámit s těmito hodnotami a podle nich se například rozhodovat zda tento typ instaluje či nikoliv, ale již není možné, aby je uživatel sám měnil nebo ovlivňoval. Na hodnotu sériového odporu má vliv především čistota materiálu a dále pak tloušťka samotné vyrobené destičky a v neposlední řadě také teplota. Teplota se však bude v čase měnit a je poměrně velmi obtížné ji ovlivnit například chlazením panelu. Hodnota svodu nebo svodového proudu je pak dána především použitou technologií na kontakty a kvalitou povrchu. Samozřejmě na kvalitu samotného článku má také výrazný vliv kvalita zpracování samotného pn přechodu. To je opět vliv, který běžný uživatel jen těžko ovlivní a je tedy na výrobcí článku na jaké úrovni má zvládnuto technologické zpracování výroby. [16]

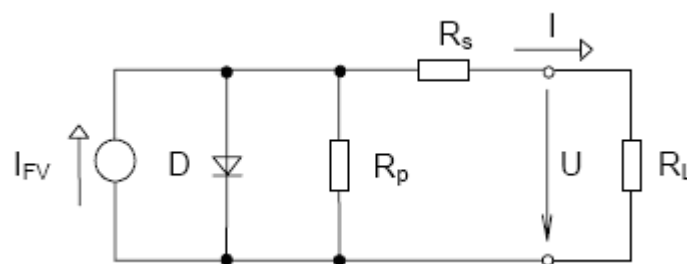
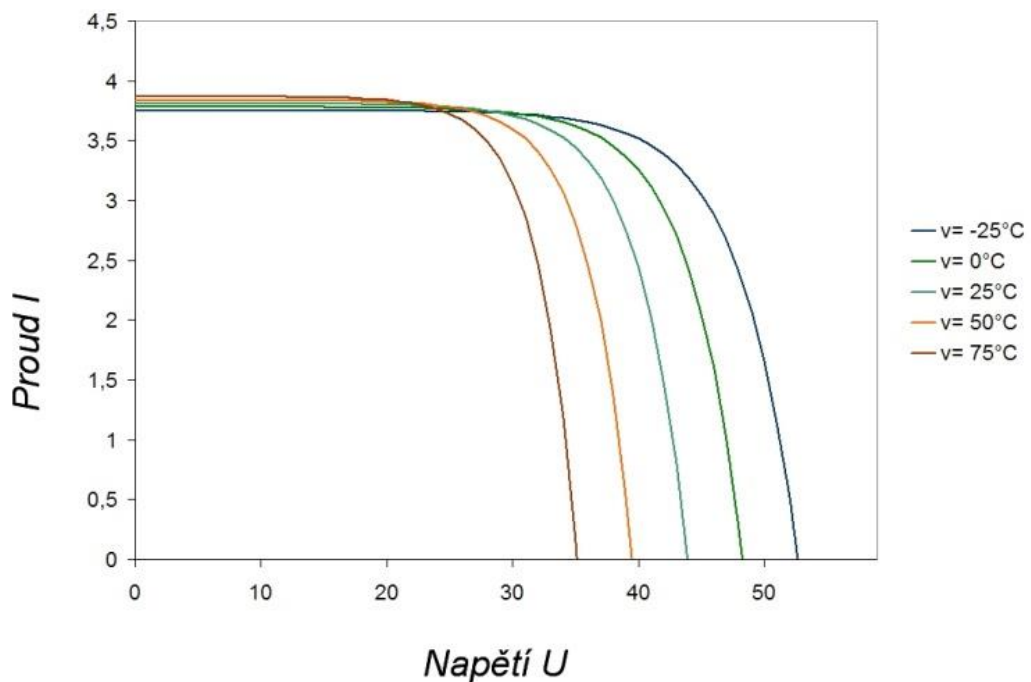


Schéma č. 1 Náhradní schéma FV článku. [24]

Nezanedbatelný vliv má také samozřejmě intenzita slunečního svitu. Ta patří mezi základní parametry. Lze alespoň teoretickým výpočtem odhadnout intenzitu během daného období a přibližně tak vyčíslit množství vyrobené energie za daný časový interval. Alespoň tento matematický předběžný odhad pak může posloužit při návrhu fotovoltaické elektrárny,

aby byla správně nadimenzována a šlo tak opět dále přibližně odhadnout ekonomickou návratnost. Na celkovou účinnost má samozřejmě vliv také spektrum dopadajícího světla a to jaké části spektra je článek schopen zpracovat. Zajímavější možností jak ovlivnit tvar křivky voltampérové charakteristiky je vliv provozních veličin. To už alespoň částečně uživatel ovlivnit může. Nyní by tedy bylo vhodné si ujasnit, jaké vlastně jsou provozní veličiny a způsoby jakými je můžeme ovlivňovat. Mezi základní provozní veličiny patří intenzita slunečního svitu, která za standardních testovacích podmínek dosahuje 1000 W/m^2 . Podle tvaru charakteristiky lze konstatovat, že se zde v tomto případě jedná téměř o přímou úměru. Pokud to tedy zjednodušíme tak lze říci, že když bude dopadat 1000 W/m^2 budeme z článku dostávat 100 % výkonu a pokud bude dopadat 500 W/m^2 budeme dostávat jen 50 % výkonu. Přímá úměra je zde tedy jednoznačná, protože vygenerovaný proud je přímo úměrný pouze dopadajícímu záření. V další zjednodušené úvaze tedy lze konstatovat, že jeden foton v článku vyrazí jeden elektron. Tím pádem tedy platí, že kolik na článek dopadne fotonů tolik lze z článku získat elektronů. Tato jednoduchá úvaha samozřejmě předpokládá, že ostatní parametry budou konstantní. Pak lze tedy jednoduše spočítat množství intenzity během dne případně lze nalézt přibližnou hodnotu v tabulkách a s přihlédnutím ke tvaru křivky voltampérové charakteristiky lze opět přibližně stanovit množství vyrobené energie během daného období. Tento závěr předpokládá, že ostatní vlivy budou konstantní anebo zanedbatelné. Během dne se však parametry mění, takže je potřeba uvažovat i další ovlivňující parametry. Mezi další vlivy se řadí například spektrum dopadajícího signálu, jak již bylo v této práci zmíněno, tento vliv je však minimální. Další parametr, který má však již markantní vliv je teplota. [16]



Graf č. 4 Ovlivnění VA charakteristiky teplotou. [23]

V charakteristice jsou zaneseny křivky při různých teplotách. Jak je vidět v charakteristice, tak se zvyšující se teplotou se křivka posouvá směrem k nule. Opět zde platí, že čím větší teplota tím větší posun křivky. Křivka se může v grafu posunout i o desítky procent. Teploty přesahující i 70 °C nemusí být v letních měsících zcela nereálné a je potřeba i s takto vysokými teplotami uvažovat. Toto znamená, že se na článku oproti standardním testovacím podmínkám sníží napětí přibližně o 0,1 V. To je přibližně pokles o 10 až 15 %. To samozřejmě posouvá i pracovní bod. Toto tvrzení s teplotou však platí i při obráceném směru změny teploty. Pokud tedy článek podchladíme tak se i křivka ve voltampérové charakteristice bude posouvat na druhou stranu. Nyní se ale vrátíme zpět k problému, proč se bude se zvyšující se teplotou snižovat hodnota napětí. Když teplota článku roste tak bohužel s ní se zvyšuje i hodnota odporu článku. To má za následek zvýšení ztrát vlivem vyššího odporu. Paradoxem celé situace však je to, že při poklesu napětí článku vlivem zvýšené teploty však hodnota generovaného proudu nepatrně vzroste. Tato situace nastává v souvislosti s fotovoltaickým jevem. Tento jev již byl vysvětlen v úvodu práce, ale nyní je opět dobré se o tomto případě zmínit. Protože se na tomto případě poměrně dobře vysvětluje právě paradox se vzrůstajícím proudem při poklesu napětí.

Pro vyrazení elektronu potřebujeme tomuto elektronu nějakým způsobem dodat energii. Fotovoltaický článek pracuje na principu, že se elektronu předá energie dopadajícího fotonu. Toto je princip fotovoltaického článku. To však, ale znamená, že je možné elektronu dodat energii i jiným způsobem, například právě teplotou. Při zvýšení teploty se tedy část energie elektronu dodá formou tepla. Toto vysvětluje jak je možné, že i při poklesu napětí a zvýšení odporu přesto nepatrně vzroste proud. Toto zvýšení je však velmi nepatrné až téměř zanedbatelné. Jedná se o pouhé jednotky procent a vzhledem k celkovému poklesu dodávané energie z článku je toto zvýšení nepodstatné. To samozřejmě opět platí pouze v případě, že ostatní podmínky budou stejné. Těmito změnami samozřejmě dochází i ke změně pozice pracovního bodu. Celkově však z této úvahy můžeme vyvodit závěr, že celkový dodávaný výkon a i celková účinnost klesá.

Dalším poznatkem pak je, že nelze kompletně celý systém navrhnout pouze s ohledem na intenzitu záření, protože je nutné do návrhu zahrnout i tyto další vlivy, především pak právě teplotu. V zimním období, kdy je panel poměrně dobře chlazen toto není podstatné, protože intenzita záření je tak malá, že téměř již nemá smysl tento případ moc uvažovat. Jiná je však situace v letních měsících, kdy právě díky vyšším teplotám dochází k razantním změnám. Jak již bylo i zmíněno v tomto textu tak podobný rozbor lze provést i pro spektrum dopadajícího záření, jeho vliv je však poměrně malý až zanedbatelný a proto bývá zvykem tento typ nepřesnosti příliš neuvažovat. Spektrum je také víceméně stále konstantní, což je další důvod proč není příliš zajímavé, se tímto typem problematiky zabývat více do hloubky. Z tohoto plyne, že i celkový energetický rozdíl není příliš ovlivněn.

3 Základní vlastnosti a technologie FV elektráren

Pro správné pochopení celé problematiky účinnosti fotovoltaické elektrárny je nejprve potřeba správně pochopit a umět vysvětlit jednotlivé použité technologie, a vyjasnit si nejdůležitější jednotlivé parametry a vlastnosti komponent fotovoltaické elektrárny. V této kapitole tedy bude přehled všech důležitých používaných komponent s podobnějším popisem.

3.1 Popis komponent FV elektrárny

Celé fotovoltaická elektrárna disponuje mnoha různými komponentami od rozdílných výrobců, které navíc mohou mít ještě i rozdílné parametry jednotlivých částí. Při ohledu na stavbu fotovoltaické elektrárny má výběr vhodně zvolených komponent zásadní vliv. Celá situace je ještě poněkud zkomplikována tím, že každá fotovoltaická elektrárna musí být navrhována s ohledem na budoucí umístění a tomu také musí být podřízeny jednotlivé komponenty. S přihlédnutím na účinnost celé fotovoltaické elektrárny jako celku je potřeba na řešení problémů nahlížet i z tohoto hlediska, protože účinnost celé elektrárny lze zásadně ovlivnit již při návrhu a pak samozřejmě při samotné stavbě.

3.2 Panely a jejich účinnost

Problematikou jednotlivých typů panelů jsme se již zabývaly v předchozích kapitolách, a proto se zde budeme věnovat spíše vhodnosti použití pro určité aplikace. Rozdíl mono a polykrystalických je pouze v rozdílné technologii výroby a jejich použití bývá shodné. Tam kde lze použít jeden, lze typicky použít i druhý. Zajímavější případ je u technologie amorfních článků. Ty se hodí například pro elektrárny, kde není z nějakých například stavebních důvodů možné dosáhnout optimálního umístění panelů. Jak již bylo zmíněno, tyto panely jsou schopné pracovat i při pouhém difuzním světle a za horších světelných podmínek. To je výhodné právě především pro elektrárny orientované na jinou než jižní stranu. Vyprodukovaná celková energie však nezávisí jen na celkové účinnosti panelu, ale především na lokalitě, úhlu natočení panelu, zeměpisné šířce, ročnímu období a orientaci světových stran. U většiny dnešních článků se uvádí životnost přesahující 20 let. [36]

3.3 Používané vodiče

Pokud již tedy máme vhodně zvolené panely, je potřeba nyní zajistit přívod energie do střídače. Je potřeba zohlednit především fakt, že od fotovoltaických panelů až do střídače je vedeno stejnosměrné napětí, které může být v mnohých ohledech ještě více životu nebezpečné, než střídavé napětí. Toto je zřejmě jediná odlišnost oproti běžně používaným vodičům. Samozřejmě je nutné kabely patřičně nadimenzovat na jmenovité hodnoty a brát v úvahu budoucí umístění instalace podle okolních podmínek. Vyrobený panel by tedy již měl obsahovat vyvedené vodiče zakončené požadovanými koncovkami. [16]

Jiný problém pak ale nastává při propojování jednotlivých komponent. U výrobců panelů je patrná snaha sjednocovat konektory pro jednodušší instalaci, a pokud tedy bude vše od jednoho výrobce, bývá zvykem, že konektory jsou sjednoceny. To znamená, že typicky není možné něco zapojit špatně nebo jinak než zamýšlel výrobce. Toto značně zjednodušuje a zrychluje celkovou instalaci elektrárny. Pokud však budou různé komponenty od různých výrobců, mohou nastat problémy s kompatibilitou jednotlivých konektorů. Na tento problém je potřeba dávat pozor již při samotném návrhu a vše pečlivě hlídat a kontrolovat, aby byla tato kompatibilita konektorů dodržena. [16]

3.4 Střídače

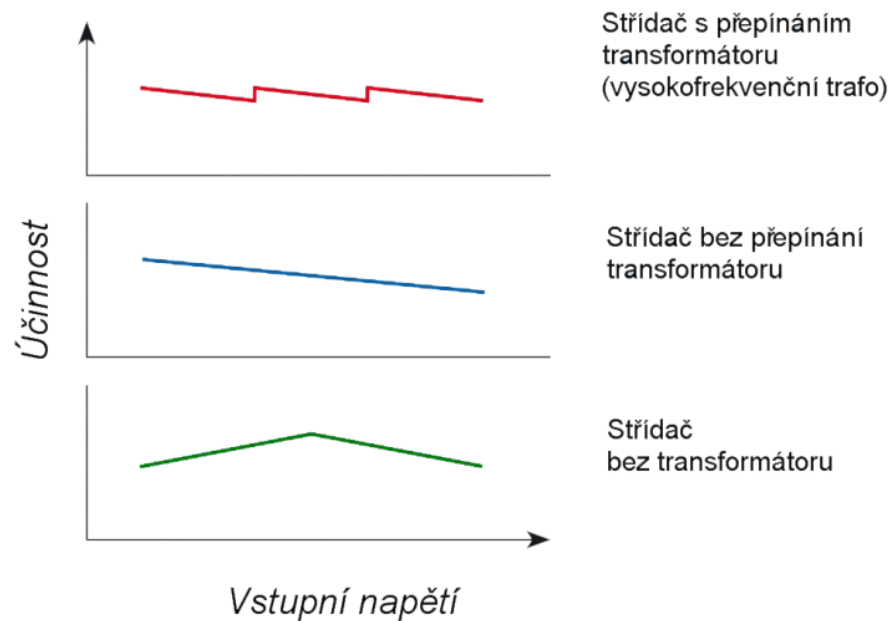
Jelikož fotovoltaické panely vyrábějí stejnosměrný proud, není možné je připojit přímo do rozvodné sítě pro prodej elektřiny. Aby toto možné bylo, je potřeba vodiče přivedené od fotovoltaických panelů nejprve přivést do střídače, který zajistí konverzi na požadovaných 230/400 V při 50 Hz. Toto je naprosto nutná komponenta, která zajišťuje chod celé elektrárny. Proto ji zde budeme věnovat trochu pozornosti. Z logiky věci vyplývá, že i když je střídač nezbytná komponenta, tak by bylo dobré se zamyslet, jak pracuje většina spotřebičů. Pokud totiž budeme uvažovat pouze spotřebiče v domácnosti a do úvahy nezahrneme velké vícefázové motory tak naprostá většina zbylých spotřebičů pak pracuje přímo s různými úrovněmi stejnosměrného napětí. Domácí spotřebiče tedy zase naopak musí obsahovat nějaký usměrňovač, aby ze střídavého průběhu získaly průběh stejnosměrný. Mnohem energeticky výhodněji tedy vychází, aby se vyrobený proud rovnou také spotřeboval v blízkém stejnosměrném spotřebiči. Toto energeticky výhodnější se však zatím příliš nepoužívá, protože by bylo poměrně komplikované sjednocovat spotřebiče na stejnou úroveň a především pak vyrábět a držet stejnou hodnotu napětí v síti. [11]



Obr. č. 4 Třífázový střídač *SUNNY TRIPOWER 10000TL* od firmy SMA. [26]

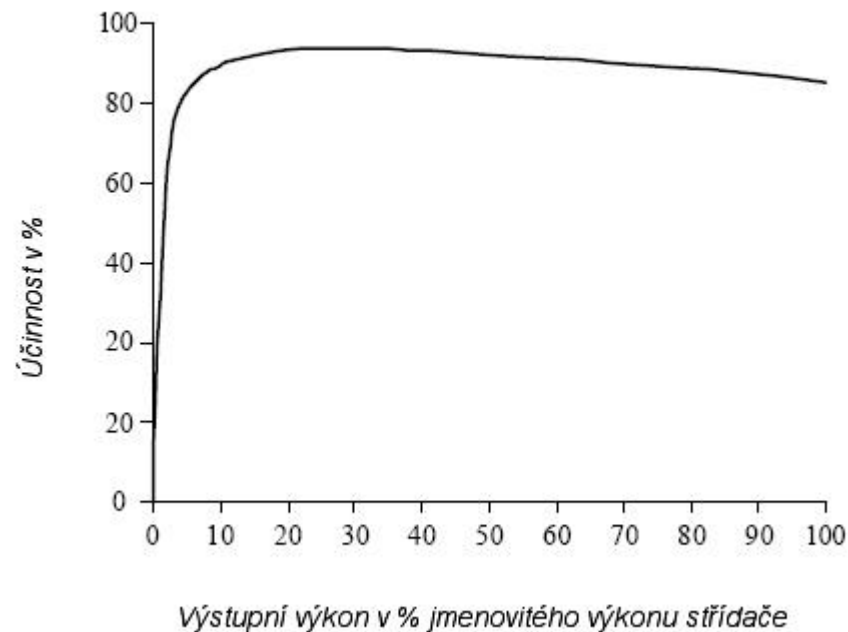
U elektráren větších rozměrů a především výkonů se pak ještě volí jakou strategii pro střídače zvolit. Je na výběr buď mít jeden velký centralizovaný střídač, který se výhodněji spravuje, hlídá a ovládá, ale v případě výpadku tohoto jednoho střídače pak zastaví výrobu celá elektrárna. Druhá možnost je pak mít několik menších decentralizovaných střídačů, které jsou na sobě nezávislé a v případě výpadku jednoho z nich pak nejsou ostatní ohroženy. Toto řešení je, ale opět nákladnější a složitější na obsluhu. Jelikož je tato práce zaměřena především na stanovení a vývoj účinnosti tak v kapitole metodika stanovení účinnosti bude také uveden příklad výpočtu na stanovení účinnosti střídače, jako jedné z nejdůležitějších komponent.

Nejkvalitnější střídače mohou dosahovat účinnosti až 98 %. V případě použití transformátorového střídače pak může účinnost dosáhnout až 95,5 %. Mezi výrobce nejkvalitnějších střídačů se mohou řadit například firmy SMA a podobné. [40]



Graf č. 5 Porovnání účinnosti střídačů. [23]

Jako další hledisko jak efektivně účinnost porovnávat je potřeba mít ujasněno jak je vlastně účinnost měřena výrobcem. V katalogových listech je možné dohledat dva typy účinností. Může se jednat o účinnost maximální nebo evropskou. Maximální účinnost může dosahovat hodnot 90 – 98 %. Tyto hodnoty však střídač v praxi dosahuje jen za optimálních podmínek a není tak možné objektivní srovnávání. Pro zdejší oblasti se mnohem lépe uplatňuje účinnost takzvaná evropská, která je měřena při měnících se podmínkách, a tyto naměřené hodnoty jsou následně ještě zprůměrovány při různých váhových koeficientech. Pokud tedy chceme výrobu maximalizovat, je vhodné zvolit střídač s vyšší hodnotou takzvané Evropské účinnosti. [23]



Graf č. 6 Závislost účinnosti na výstupním výkonu. [23]

3.5 Připojení do rozvodné sítě

Pokud již tedy máme panely správně umístěny a zapojeny do střídače, je nyní potřeba energii vyrobenou ve fotovoltaické elektrárně přenést do rozvodné sítě, odkud pak poputuje do různých spotřebičů. Při tomto zapojení standardně bývá na výběr z více možností. Pokud však pomineme ostrovní režim, pak nám již jen zbývá se rozhodnout, zda systém zapojit tak, aby se veškerá vyrobená energie dodala do distribuční sítě. Případně se zde nabízí druhá možnost. Druhá možnost nabízí spotřebovat vyrobenou energii v místě výroby, a pokud někdy během dne dojde k situaci, že výroba je vyšší než současný reálný odběr tak vyrobená energie samovolně přechází do standardní veřejné distribuční sítě. Tyto možnosti zapojení někdy bývají označovány jako zapojení na povinný výkup a druhá možnost jako zapojení na zelený bonus. Každé zapojení má pak své specifikum a je potřeba již při samotném návrhu zohlednit jak bude samotná elektrárna provozována, protože pozdější změny jsou sice možné, ale nepoměrně obtížněji proveditelné. [37]

3.6 Maximalizace výroby, přehled možností

V této kapitole bude nastíněn úvod do kapitoly následující, kde bude vše ještě podrobněji vysvětleno. Jelikož vždy existuje snaha získat maximum vyrobené energie za dané časové období, vyvíjejí se možnosti jak ještě lépe optimalizovat fotovoltaickou elektrárnu. Pokud již budeme uvažovat, že možnosti jak zlepšit samotný článek jsme již vyčerpali v předchozích kapitolách. Tak nyní by bylo vhodné pokračovat ve zlepšování účinnosti v dalším kroku. Tím je možnost jak z již vyrobeného panelu získat ještě více. Nabízí se hned několik dostupných řešení, které budou nyní pouze shrnuty v jednoduchém přehledu a až poté podrobněji vysvětleny v dalších samostatných kapitolách

Mezi první nabízené možnosti může patřit například pohyblivý stojan pro celý fotovoltaický panel. Jelikož různých typů a provedení je velké množství je nesmysl vyjmenovávat všechny detaily podrobně, ale bude lepší pouze vysvětlit princip činnosti.

Dalším možným zlepšením je například koncentrátor. Toto důmyslné zařízení díky propracovanému systému zrcadel soustředí na menší plochu panelu více dopadajícího záření, a pokud je na tento typ aplikace fotovoltaický panel vhodně přizpůsoben, je maximalizace vyrobené energie více než zajímavá.

Jednou z dalších možností pak také může být oboustranný takzvaný biface panel, kdy je na zadní stranu klasického panelu ať už polykrystalického či monokrystalického umístěn další panel, který je schopen zpracovávat i nepřímé difuzní záření. Toto spojení pak ve výsledku opět dokáže vyrobit více energie než samotný panel na přední straně.

4 Metodika stanovení účinnosti

Jelikož správné stanovení účinnosti nepatří mezi jednoduché úkoly je potřeba nejprve správně definovat, co celkovou účinnost vlastně ovlivňuje a především pak definuje. Je potřeba určit jaká je momentální fyzická hranice účinnosti, jak je teoreticky možné ji dosáhnout a mnohé další parametry, které budou jednotlivě popsány v následujících kapitolách.

4.1 Stanovení správného natočení a úhlu panelu

Jelikož samotnou účinnost již hotového vyrobeného panelu může koncový uživatel již jen těžko ovlivnit, je potřeba již při samotném nákupu panelů zohledňovat především účinnost deklarovanou výrobcem. Většinou jsou mezi výrobci jen nepatrné rozdíly v desetínách procent a někteří výrobci dokonce účinnost uvádějí v setinách procent. Pokud tedy budeme dále uvažovat, že panely máme vybrané, tak jejich deklarovaná účinnost je pevně dána a lze předpokládat, že vlivem materiální degradace se bude v čase již jen neustále snižovat.

Pro správné používání je však potřeba zajistit i optimální podmínky pro instalaci. Pokud totiž budeme disponovat sebelepším panelem, který však bude špatně nainstalován, tak se nikdy nedostane na své maximální uváděné parametry a účinnost. Především je potřeba dávat pozor na drobné zastínění od různých předmětů jako jsou komíny, stromy a různé okolní prostředí. V takových podmínkách, pak při různém stupni zastínění může dojít dokonce k výpadku celého stringu a zbytečně tak dochází ke ztrátám. Dříve se udávalo, za optimální sklon hodnota přibližně 45° od vodorovné osy. Nyní se během let tento úhel upravil na hodnoty začínající přibližně na hodnotě již 30° a více. Jako ideální orientace na světové strany se pak většinou udává údaj natočení na jižní stranu s maximálním odklonem $10 - 15^\circ$ na západní stranu. Přesný úhel je poměrně obtížné odhadnout a vždy závisí na okolních podmínkách, jejichž hodnota se může s každým místem instalace nepatrně lišit. [35]

4.2 Časová závislost ideálního úhlu náklonu

V předchozí kapitole jsme se zabývali ideálním úhlem náklonu a orientací na světové strany. Uvedené údaje samozřejmě odpovídali tomu, aby byla za celoroční provoz maximalizována celková výroba v součtu vyrobené energie. Úplně ideální úhel však není stejný pro celý rok, roční období ani den. Optimální podmínky se mění v průběhu každého dne a postupně i celých ročních období.

Při této úvaze dojdeme k závěru, že by bylo vhodné každý den sledovat pohyb slunce a celé panely pak různě otáčet tak, aby průmětná plocha byla vždy co možná největší. Tento systém je skutečně v praxi aplikován s různou úspěšností a účinností řešení. Panely lze otáčet, buď systémem kde je použit hodinový stroj, anebo systémem, který má v sobě zabudovaný sledovač. Každý systém má své výhody i nevýhody. Hodinový stroj je spolehlivý a neruší ho například oblačnost, ale na druhou stranu se otáčí vždy jen podle předem vypočtených hodnot, které nemusejí být vždy úplně optimální. Systém se sledovačem naopak vždy poměrně dobře určí správný směr natočení je však poměrně snadné ho zmást například oblačností nebo usazujícím se prachem na snímacím čidle. [34]

Opět tedy nelze jednoznačně určit, který systém je spolehlivější a lepší. Vždy bude záležet na daném umístění a celkovém provedení instalované konstrukce. Obecně lze definovat i úhel od vodorovné osy. Pro opětovné zlepšení účinnosti může opět i tento systém ovládnout. Z praktického hlediska však již není zvýšení účinnosti natolik markantní a jedná se při velmi optimistickém odhadu přibližně o 5 % více vyrobené energie při naklápění i ve druhé ose. Teoreticky by pro nejlepší poměr ceny a výkonu mohlo dostačovat například mít systém ve druhé ose statický a alespoň 4 krát během jednoho roku polohu změnit manuálně. [34]

4.3 Teplota a chlazení panelu

Teplota panelu je jedna z nejdůležitějších vlastností. Vzhledem k tomu, že s teplotou velmi razantně klesá účinnost panelu, je nutné, se z hlediska účinnosti zabývat i touto problematikou. Problém chlazení se nejvíce projevuje především v letních měsících, kdy je možné dosáhnout ohřátí panelu až k 60 °C a více. Proto se uvažují různé technologie jak toto zlepšit. Jednou z možných technologií je například chlazení panelu vodou, což je ale poměrně více technologicky náročné a je potřeba uvažovat celkovou energetickou bilanci. Musím mít

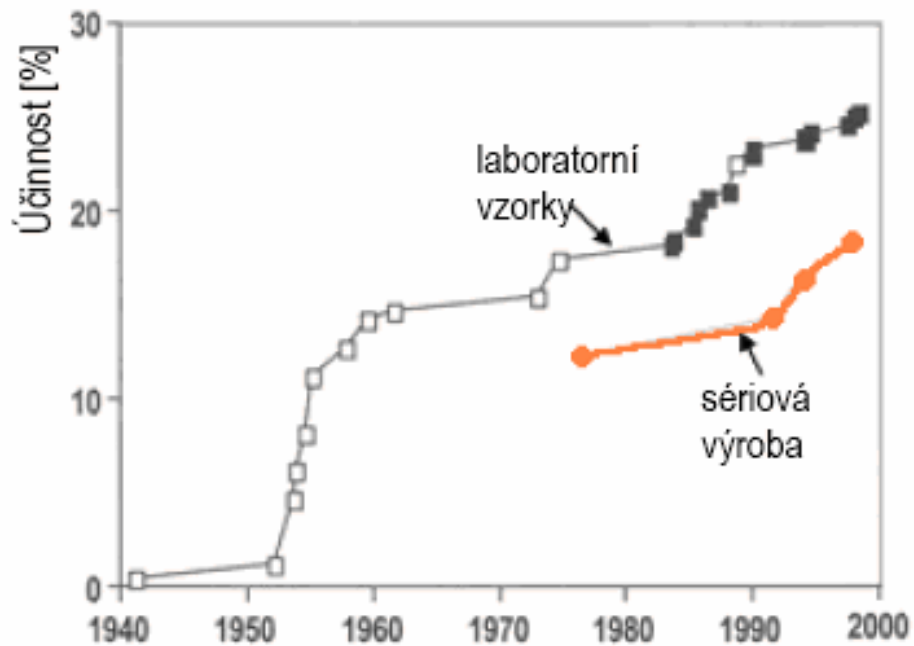
tedy spočítané, kolik energie mne bude chlazení panelu stát a kolik naopak získám navíc oproti situaci, kdy panel chlazen není. Tato myšlenka dala možnost vzniknout takzvaným hybridním nebo kombinovaným panelům, které najednou generují elektřinu a současně i teplou vodu pro použití například v domácnosti nebo k přitápění. Tento typ panelů je opět poměrně technologicky náročnější a neřeší problém kam s teplou vodou, pokud je jí již dostatek. Nejjednodušším a nejrozšířenějším systémem jak panel chladit tedy stále zůstává pouze působení proudícího vzduchu, který panel ochlazuje. Je tedy vhodné panel instalovat, tak aby se mu umožnilo správné odvětrávání a proudění vzduchu kolem a teplo je tedy předáno dál bez dalšího využití.

4.4 Snížení ztrát pomocí antireflexních vrstev

Snížování ztrát je problém, který je intenzivně řešen již od samotného vzniku fotovoltaických panelů. Jednou z možností jak dosáhnout snížení ztrát je například instalace článků pod vhodné antireflexní vrstvy. Tato myšlenka není nijak nová, a proto existuje mnoho technicky poměrně zajímavých řešení. Nejjednodušší a patrně nejvíce používané řešení je snaha o co nejlepší propustnost krycího skla nad článkem. Je zde snaha o to, aby co nejvíce slunečního záření prošlo až k samotnému článku a nedocházelo tak ke zbytečným odrazům světla, které se pak již nevyužije.

Mezi další možnosti se pak řadí, poměrně zajímavá technologie, kdy je krycí sklo tvořeno přesně spočtenými optickým čočkami, které lépe usměrnují dopadající světlo. To má za následek, že jsou články lépe využity i když na panel dopadá světelné záření, které nemá optimální úhel. Toto řešení funguje, avšak tato vrstva skla je poměrně špatně chráněna před okolním prostředím. To má za následek snadné zanášení panelů například od prachu a jiných předmětů jako je například listí stromů. [16]

V raných začátcích fotovoltaických panelů se také uvažovalo o fotovoltaiice jako o dekorativním prvku a krycí skla se tak vyráběla v různých barvách. Nicméně jak se později ukázalo tak všechny barvy byly pro produkci energie spíše kontraproduktivní, protože celkově klesala účinnost panelů jako celku. Od tohoto řešení pro dekorativní účely se tedy velmi rychle upustilo a v praxi se již běžně téměř nevyskytuje.[16]



Obr. č. 5 Průběh vývoje účinnosti FV článků z Si. [24]

Podle zdroje [25] pak v praxi dochází nejčastěji k těmto ztrátám. Některé typy ztrát již nelze ovlivnit, protože jsou již dány technologií výroby.

FVE - nejčastější ztráty z deklarovaného nominálního výkonu	
Ztráty vlivem teploty podle typu použité technologie	10.0 %
Úhlová odrazivost	3.5 %
Kabeláž	6.5 %
Střídače	6.5 %
Skryté vady fotovoltaických panelů	3.5 %

Tab. č. 2 Nejčastější typy ztrát. [25]

4.5 Číselné vyjádření účinnosti

Jelikož budeme lokalizaci systému uvažovat v našich zeměpisných šířkách, budeme se dále věnovat pouze takzvané Evropské účinnosti. Účinnost u střídače se rozumí tomu kolik energie ze stejnosměrného vstupu, dokáže převést na střídavý výstup. Matematický popis je poměrně jednoduchý a jde v podstatě pouze o určené váhové koeficienty pro každou naměřenou hodnotu účinnosti.

I když je u střídače jeho účinnost patrně nejsledovanější vlastnost tak to ještě není vše co by nás mělo zajímat. Dalším důležitým parametrem je také hodnota, kterou udává parametr zvaný maximum power point tracker (MPPT). Jde o hodnotu, která udává, jak se střídači daří udržovat pracovní bod připojených panelů. To je opět poměrně důležité z hlediska využívání vyrobené energie. [9]

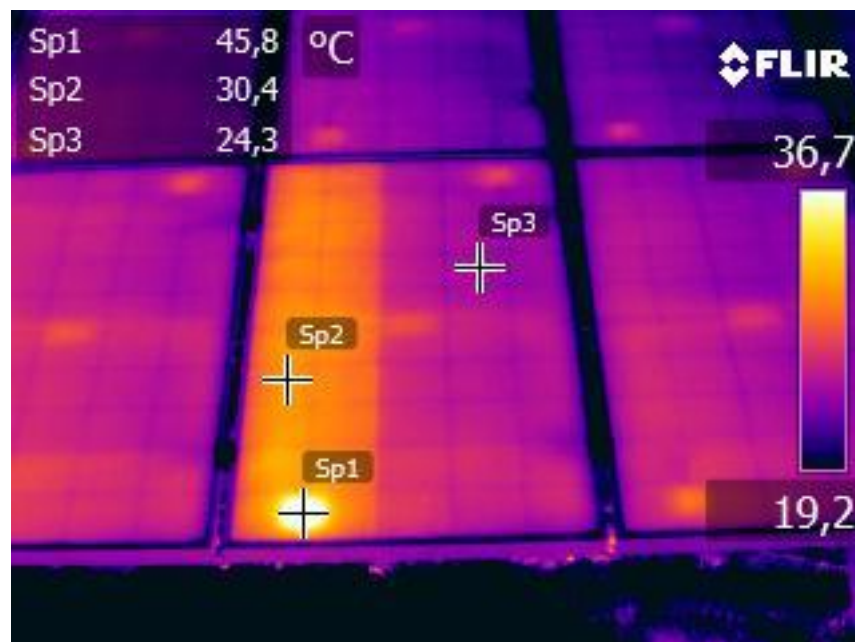
$$\begin{aligned} \eta_{euro} = & 0,03 \cdot \eta_{5\%PN} + 0,06 \cdot \eta_{10\%PN} + \\ & + 0,13 \cdot \eta_{20\%PN} + 0,1 \cdot \eta_{30\%PN} + 0,48 \cdot \eta_{50\%PN} + \\ & + 0,2 \cdot \eta_{100\%PN} \end{aligned} \quad (2)[30]$$

Do budoucnosti by také mohlo být zajímavým řešením použití takzvaných mikro střídačů nebo též mikro inventurů. Jde v podstatě jen o samotné a malé jednotky, které mohou být připojeny rovnou na samotných panelech. Při tomto zapojení tak odpadají problémy například s různým sklonem střechy, různou orientací panelů ve stringách, nebo například, při poruše je možné odpojit přímo panely od dalších vodičů. Jejich patrně zatím největší nevýhodou bránící většímu rozvoji je vyšší cena při nižší životnosti. Poslední možností, které se předpovídá zdárný vývoj je kombinace samotného malého střídače a výkonového optimizéru. Toto spojení pak zaručuje vysokou účinnost i při nízkých hodnotách dopadajícího záření. Největší výhoda tedy jednoznačně je více získané energie. [30]

5 Sledování účinnosti FVE v provozu

Při teoretických výpočtech je vše poměrně jasné a jednoduché. Jak se ale ukazuje v praxi má tento druh obnovitelné energie stejný problém jako téměř všechny ostatní významné obnovitelné zdroje energie a tím je závislost na počasí. Sledování účinnosti je tak poměrně obtížný úkol především kvůli proměnlivosti dopadajícího záření, okolních teplot, úhlu dopadu slunečního záření a mnoho dalších faktorů.

Sledování účinnosti patří mezi nezbytné úkoly při správě fotovoltaických elektráren, protože pokud nejsou panely správně hlídány a případně servisovány dochází pak ke zbytečnému snížení účinnosti, a pokud toto není započítáno v ekonomickém modelu, může se pak doba návratnosti neúměrně prodlužovat. Pokud článek v panelu z nějakého důvodu nepracuje, například protože je zastíněn může pak dojít k situaci, že se samotný panel nechová jako generátor, ale jako spotřebič elektrické energie. To pak může mít za následek rozptylování vznikajícího tepla do okolí. Díky tomuto jevu jsme pak schopni termokamerou detekovat zahřívající se vadné články. Takto vadný článek je potřeba co nejdříve detekovat a nějakým způsobem řešit jinak hrozí riziko, že bude teplotně ovlivňovat další články a může dojít i k jejich poškození.



Obr. č. 6 Termovizní snímek. [31]

Pro takovéto měření je optimální pokud měření probíhá v době, kdy má panel největší generovaný výkon, protože se vadné články o to více ohřejí a jsou na termokameře patrnější. Pro snímání termokamerou je většinou výhodnější, pokud je k panelům přístup také z druhé strany, protože se tak efektivně vyhneme odrazům slunečního záření.

Dalším místem, kde je termokameru vhodné použít je zjišťování stavu jednotlivých kontaktů. Špatně instalované kontakty se mohou časem uvolňovat a opět tak zde hrozí riziko ztrát. Opět zde platí jako u měření FV panelů, že teplota je během dne zpožděna oproti normální okolní teplotě. Proto je dobré měření provádět v době kdy již je elektrárna určitou dobu v provozu a nikoliv hned po spuštění, či časné ráno.

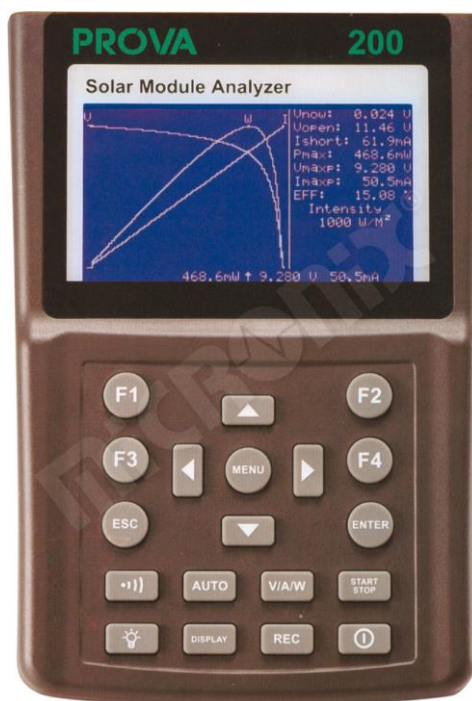
Termografie je tak jedna z nejpoužívanějších metod jak včas odhalovat vadné články v celých panelech. Čas potřebný pro detekci vadného článku je poměrně důležitý faktor, protože s působícím časem vadný článek ovlivňuje své okolí a může tak ještě zvětšovat vzniklé škody. Základní pravidlo pro teplotu říká, že teplotní nárůst přibližně o 10 °C nad výrobcem doporučenou 50 % hodnotu má za následek, že dojde ke snížení celkové životnosti zařízení. [38]



Obr. č. 7 Termokamera FLUKE TI-55FT. [32]

Testování panelů by tedy mělo být možné dělit na terénní a laboratorní testy. Uváděné měření termokamerou patří mezi typické zástupce terénního měření, kdy není potřeba nijak zasahovat do systému a pouze stačí, aby vše bylo přístupné. Další z možností jak sledovat účinnost v terénních podmínkách je měření samotné VA charakteristiky. Pro tento typ měření jsou obvykle používány analyzátory přímo pro fotovoltaické panely. Měření často bývá plně automatizované a také propojovací kabely jsou již nakontaktovány tak, aby nemohlo dojít k záměně. Měřicí přístroje jsou také většinou vybaveny automatickým skenem, a měření je tak opravdu rychlé a jednoduché. Díky čidlům připojeným k analyzátoru je možné standardně

určovat především parametry jako je maximální výkon, napětí, proud, a podobně. Dále by měl analyzátor být schopný změřit i zkratový proud, napětí naprázdno a také provést výpočet účinnosti měřeného fotovoltaického panelu. [39]



Obr. č. 8 Analyzátor solárních článků PROVA 200. [33]

Pokud je potřeba parametry určit zcela přesně, je potřeba provést přesnější laboratorní měření a to je vždy spojeno s demontáží a transportem panelu do příslušné laboratoře. Tyto měření jsou však řádově dražší, avšak pokud jsou nutné k úspěšné reklamaci, jsou tyto měření nevyhnutelné. Mezi nejčastěji prováděné testy pak patří především ELCD test a flash test. ELCD test dokáže odhalit i procesní a výrobní vady v samotných článcích a dokáže tak odhalit i velmi skryté vady či chyby, které mohly vzniknout při výrobě, byly skryté a bylo téměř nemožné je odhalit jinak než tímto testem. Test tedy dokáže určit kvalitu výrobního procesu i problémy, které mohly vzniknout například při transportu nebo jinou špatnou manipulací. Ostatní metody jako je například měření VA charakteristiky nebo měření termokamerou tyto vady nejspíše nejsou schopny zjistit. Dalším testem, který je možné v laboratoři provést je takzvaný flash test. Při tomto testu se simulují ideální podmínky a měří se téměř vše, co udává i výrobce, aby bylo možné udávané a změřené hodnoty porovnat. Měření by tedy mělo probíhat při STC. [39]

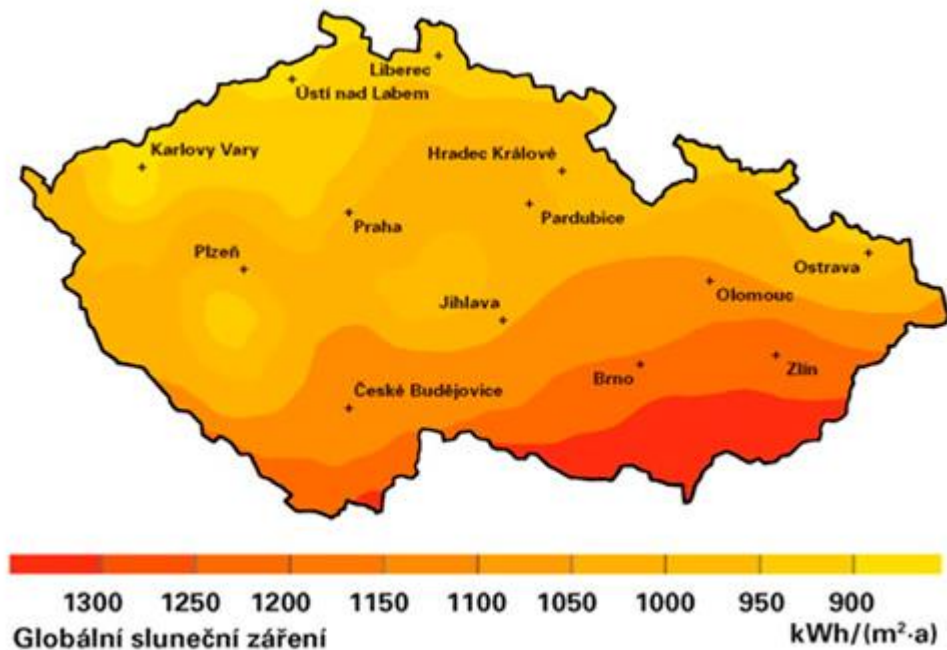
Mezi další možnosti jak zkoumat solární panely, které by bylo vhodné alespoň zmínit, by mohla patřit například elektroluminiscence nebo klimatická komora, kde lze simulovat umělé stárnutí. [39]

5.1 Posouzení vlivu okolního prostředí

Právě okolní prostředí má zásadní vliv na celkový okamžitý výkon elektrárny a celkovou vyrobenou energii v součtu za sledované období. První myšlenka, která by mohla vzniknout je umístit elektrárnu například do pouštních oblastí kde je nejvíce dopadajícího záření. Tuto myšlenku ovšem kazí fakt, že by zde panovaly poměrně vysoké teploty a panely by se rychle zanášely pískem. Z této úvahy tedy vyplývá, že ideální místo by bylo takové, kde je poměrně čisté prostředí, hodně dopadajícího záření a nižší teplota okolí. S prašností souvisí i další problém a tím je otázka, zda se vyplatí krycí skla panelů čistit. Patrně největší zastínění v našich podmínkách je v zimních měsících souvislá vrstva sněhu. Nyní zůstává otázkou, zda panely čistit a riskovat tak poškrábání krycího skla, když je v zimních měsících výroba minimální anebo nechat samovolně působit Slunce a počkat až sníh samovolně odtaje. Opět zde nelze jednoznačně určit jaké řešení je lepší a opět velmi záleží na dané lokalitě a jejích specifikacích.

5.2 Porovnání slunečních podmínek v ČR a ve světě

Při porovnávání mapových podkladů, které jsou volně dostupné v různých zdrojích je potřeba především uvědomovat si souvislosti. Pokud je k dispozici, například pouze mapa České republiky, bez porovnání s ostatními státy Evropy je porovnání sice možné v rámci podmínek v ČR, ale bez dalších států je tato mapa vytržena z kontextu. Z mapových podkladů je opět patrné, že čím jižnější oblast tak tím více slunečních paprsků dopadá na Zemi. Bohužel s tímto roste i teplota i okolní teplota a ta pak následně opět účinnost snižuje.



Obr. č. 9 Globální sluneční záření. [27]

I když téměř všechny mapy globálního slunečního záření nemusejí vypadat stejně, měly by správně zobrazovat alespoň přibližné hodnoty dopadajícího záření. Toto však není potřeba dodržovat a pak podle různých map nelze objektivně srovnávat různé oblasti. Mapa na obrázku číslo 9 ukazuje poměrně nízké hodnoty ve velmi teplých barvách a mapa na obrázku číslo 10 naopak stejnou oblast ukazuje s podobnými hodnotami avšak ve zcela jiných barvách. Mapa pouze České republiky je tak vytržena z kontextu. Pokud bychom porovnávali mapy pouze podle barev, bylo by srovnání naprosto zcestné a nesmyslné. Na toto je potřeba dávat pozor a sledované oblasti vždy sledovat v kontextu s okolím.



Obr. č. 10 Mapa Evropy z programu PV gis. [28]

5.3 Porovnání systémů pro zlepšení účinnosti

Jelikož účinnost patří mezi nejvíce sledované parametry, je poměrně pečlivě hlídána již při samotné výrobě panelů. Každý vyrobený panel by měl být otestován a dodán s takzvaným flash listem. Tento list je pro fotovoltaický panel něco jako rodný list. Mezi základní parametry, které by zde měly být uvedeny, by mělo patřit především sériové číslo panelu, aby bylo možné panel přesně dohledat a dále pak alespoň maximální dodávaný výkon, napětí a proud. I když všechny panely jsou vyráběny stejnou technologií a ze stejného materiálu je každý kus originál. Proto pro správné zapojení do stringů by se tyto listy měli porovnávat a pro zvýšení účinnosti a snížení ztrát by se měly vybírat panely velmi podobné. Především by měl být co nejvíce shodný protékající proud pro optimální řazení do stringů.

Další poněkud přehlíženou možností je jiné umístění vyvedení kontaktů ze samotného panelu. Při pohledu na panel v provozu přes termokameru jsou jasně vidět místa kde je krabička umístěna. Výrobci dodržují již zavedené standardy a tyto krabičky tedy umísťují takto, i když je více než jasné, že se nejedná o optimální řešení. Při pohledu termokamerou je také dobré se zamyslet nad maximálním možným dodávaným výkonem vzhledem k okolní teplotě. Na trhu jsou totiž mimo jiné také dostupné panely, které jsou schopny dodávat i více

než obvyklých 250 Wp na jeden panel. Tyto panely s Wp například kolem hodnoty 300 jsou pak skutečně schopny při optimálních podmínkách dodat více, ale je opět potřeba na druhou stranu uvážit, že s výkonem roste i teplota a ta opět celkovou účinnost snižuje. Je tedy sporné, zda se skutečně vyplatí investovat do lepších panelů.

5.4 Naklápění panelu v jedné a ve dvou osách

Naklápění celých fotovoltaických panelů během dne má své velké opodstatnění. Pokud bychom totiž celý panel otáčeli za zdrojem záření tak, aby byla průmětná plocha vždy optimálně kolmá, dosáhnuli bychom tím opět zvýšení vyrobené energie. Opět by bylo vhodné si zde zopakovat základní pravidlo, že čím více Slunce máme, tím více také panel vyrobí. Pokud tedy hned jak vyjde slunce, dojde k natočení panelu za sluncem tak téměř okamžitě pak dostáváme plný výkon.



Obr. č. 11 Jednoosý systém naklápění [29]

Naproti tomuto se však staví ekonomická stránka věci, kdy je potřeba zohlednit pořizovací náklady na složitější nosné konstrukce pro panely a cenu samotných motorů pro naklápění. Toto však ještě není všechno, protože je zde stále potřeba ještě neustále vyhodnocovat dopadající záření a podle toho v reálném čase upravovat naklopení panelu. Tento děj musí nutně hlídat další elektronické komponenty, které je opět potřeba nějak napájet. Samozřejmě se složitostí zařízení roste i riziko poruchy a tím pádem i klesá spolehlivost celého systému. Výrobci těchto trackerů uvádějí zvýšení účinnosti 3 až 4 krát. To se samozřejmě na první pohled zdá příliš mnoho. Nicméně pokud se správně definují podmínky během daného časového období, je skutečně možné toto dosáhnout.

Jak přesně výrobci toto číslo dosáhnou, bude podrobněji popsáno v následující kapitole. Systémů naklápění je opět více typů a mohou se naklápět v jedné nebo ve dvou osách.



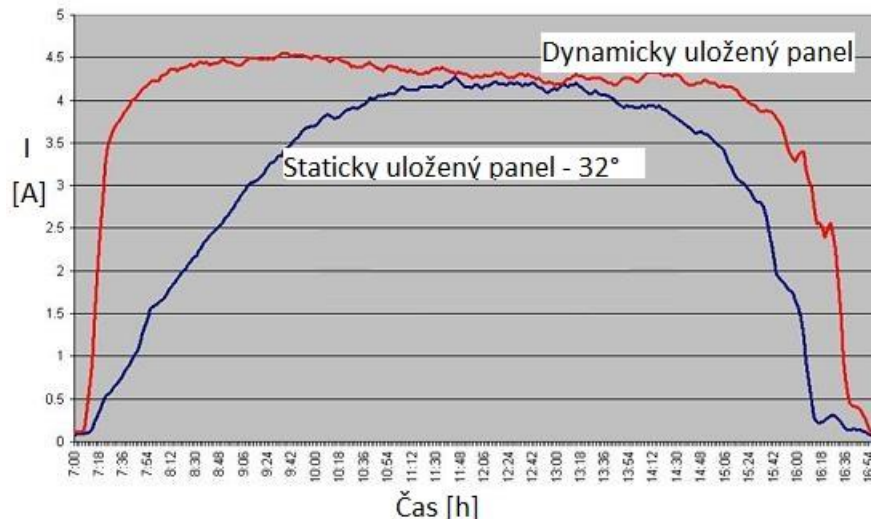
Obr. č. 12 Dvouosý systém naklápění [29]

Uvádí se, že naklopení systému v jedné ose dokáže průměrně v reálném provozu zvýšit množství vyrobené energie stejným panelem až o 30 %. Systém naklápění ve dvou osách, který je schopen ještě lépe regulovat optimální průmětnou plochu pak dokáže zvýšit množství vyrobené energie přibližně až o 35 %. Výhody a nevýhody jednotlivých systému opět podrobněji rozebere následující kapitola.

5.5 Porovnání účinnosti statického a dynamického uložení panelu

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole tak někteří výrobci sledovačů deklarují zvýšení efektivity výroby 3 až 4 krát. Tohoto čísla je dosaženo tak, že panel, který je instalován na pevné konstrukci má typicky během dne nejvíce vyrobené energie kolem poledne či v časných odpoledních hodinách, kdy většinou bývá intenzita slunečního svitu nejvyšší. Pokud však v tomto časovém okamžiku například přijde oblačnost a bude tak velmi málo přímého slunečního svitu, tak vyrobená energie bude minimální i když by bylo ráno i večer jinak ideální počasí. V ranních a večerních hodinách pak naopak dynamicky uložené panely díky svému správnému natočení mohou generovat téměř maximální výkon. To zajistí, že i když v nejlepší časovém okamžiku téměř žádné slunce nebylo, tak dynamicky uložené panely zvládnou za zbytek dne přeci jen nějaké množství energie vyrobit.

Pokud tedy budeme porovnávat tyto hodnoty, kdy staticky uložený panel nezvládl vygenerovat téměř nic je dynamicky uložený panel skutečně na množství vyrobené energie násobně lepší. Toto je však cena za to, že je potřeba mnohem více místa pro instalaci panelů, aby se panely vzájemně nestínily. [17]



Graf č. 7 Porovnání statického a dynamického uložení FV panelu. [29]

5.6 Systémy zrcadel, koncentrátoři

Jako doplňkové technologie pro zvýšení účinnosti jednoho panelu se pak také mohou používat například různé koncentrátoři slunečního svitu. Tyto koncentrátoři obvykle nebývá nic jiného než soustava zrcadel, které usměrňují dopadající záření do jednoho bodu, kde je umístěn panel. Panely pro tyto aplikace jsou především zatím ještě malé prototypy, které jsou skutečně malé a mohou dosahovat například jen rozměrů původní uříznuté destičky.

Jde o poměrně zajímavý a jednoduchý způsob jak vytěžit z jednoho panelu více vyrobené energie, ale opět je potřeba vzít v úvahu, že odrazová plocha zabírá další místo, kde by mohl být umístěn další samostatný panel. V neposlední řadě je zde také nevýhoda toho, že panel, na který je odraz soustředěn, je mnohem více vystaven vyšším teplotám, kdy opět dochází k razantnímu poklesu účinnosti.

5.7 Materiální degradace v čase

Pro sledování účinnosti má zásadní vliv pravidelná kontrola celého systému, především pak kontrola samotných fotovoltaických panelů. Pokud v panelu například z nějakého důvodu nějaký článek přestane správně pracovat je poměrně obtížné tento panel přesně lokalizovat jak v rámci stringu, tak v rámci samotného panelu. Patrně jedna z nejspolehlivějších zjišťovacích metod je založena na měření pomocí termokamery. Ta opět při správném nastavení, především emisivity a správném úhlu a vzdálenosti pohledu zobrazí vadné články jako teplejší místa na jinak rovnoměrně zahřátém panelu. Toto je poměrně spolehlivý způsob jak zjistit vadný článek v panelu.

Dalším problémem pak je, jak spolehlivě sledovat účinnost střídače. V levnějších střídačích je stále možné narazit na elektrolytické kondenzátory, které typicky bývají největší slabinou celého celku. Vyšší teploty pak ještě více urychlují proces stárnutí a dochází pak k jejich nafouknutí a vytečení elektrolytu. To má za následek výpadek celého střídače a vylitý elektrolyt pak může poškodit další komponenty. U kvalitních střídačů je udávaná životnost více než 20 let. [23]

6 Ukázka reálných FV elektráren

Pro správnou představu o jaké nosné konstrukce a reálné rozmístění jde, se následující kapitola bude věnovat přímo porovnáváním elektrárnami. Tyto elektrárny jsou již delší dobu v provozu, a proto je zajímavé porovnat naměřená data. Bohužel jeden celý rok nebyly typy panelů shodné na obou konstrukcích. Z tohoto důvodu je pro zajištění objektivitu srovnávání tento jeden rok vynechán a nahrazen rokem předcházejícím.

6.1 Fotovoltaický park s různými typy nosných konstrukcí

Kontrolní měření probíhalo na dvou typech nosných konstrukcí, které měly zajímavé vlastnosti pro porovnávání. Statická konstrukce je umístěna na střeše výrobní haly a panely mají jižní orientaci se sklonem přibližně 30 – 32°. Výhoda tohoto teoretického porovnání je v tom, že dynamicky uložené panely jsou instalovány v těsné blízkosti této haly na pohyblivé konstrukci se sledovačem s naklápěním v jedné ose. Právě tato těsná blízkost umožnila, že je možné zanedbat vlivy počasí jako je například oblačnost a podobně. A také je možné zanedbat i dlouhodobé vlivy protože se jedná o naprosto shodné typy panelů s 250 Wp. Meteo data z ČHMÚ tedy nejsou pro toto relativní porovnání tolik potřebná. Pokud se budou typy nosných konstrukcí takto pouze porovnávat mezi sebou bez ohledu na počasí, protože se bude moci uvažovat pro oba typy vždy shodné.

6.2 Příklad na porovnání vyrobené energie ukázkového solárního parku

Zmíněná elektrárna tedy disponuje jak statickými tak dynamicky uloženými panely a nyní by bylo vhodné tyto systémy pro tento konkrétní případ porovnat. Jelikož na střeše haly je instalovaný výkon 80 KWp a na dynamickém uložení jen 40 KWp je potřeba pro srovnání udělat přepočít. Data ze sledování jsou za roky 2010, 2012 a 2013. V roce 2011 na systémech nebyly shodné typy panelů a tento rok je tedy ze srovnávání vyřazen. Typ instalovaných panelů je Trina TSM 05P 230 Wp. Statické i dynamické panely jsou instalovány přibližně se sklonem 30°.

Celkové porovnání dále ještě také komplikuje fakt, že v roce 2010 bylo celkem na dynamických panelech instalováno 45 KWp ale v letech 2012 a 2013 již jen 40 KWp. Proto je přepočít naprosto nutný. Jako normovanou hladinu jsem tedy zvolil pro všechny údaje

hodnotu 40 KWh. Z údajů které této hodnotě neodpovídají je dopočet již jen přímou úměrou, protože zde je předpoklad rovnoměrného dopadajícího záření.

Celkové množství vyrobené energie 80 KWp, statické			
[MWh]	2010	2012	2013
Leden	0.208	1.436	0.522
Únor	1.380	2.540	1.164
Březen	6.699	9.209	5.840
Duben	9.631	9.582	4.747
Květen	7.730	13.400	7.436
Červen	10.798	11.745	10.591
Červenec	11.878	10.937	13.947
Srpen	8.686	12.667	10.950
Září	7.586	7.599	5.698
Říjen	5.542	5.739	6.933
Listopad	1.793	1.366	1.140
Prosinec	0.208	0.491	1.294

Tab. č. 3 Celkové množství vyrobené energie v MWh ve statické instalaci.

Celkové množství vyrobené energie 40 KWp, dynamické			
[MWh]	2010¹	2012	2013
Leden	0.681	0.721	0.818
Únor	1.897	1.435	1.135
Březen	5.030	3.820	3.590
Duben	5.560	3.115	3.665
Květen	5.913	6.807	4.185
Červen	6.693	6.192	4.981
Červenec	8.614	7.909	6.631
Srpen	6.006	5.065	4.969
Září	3.789	4.831	5.866
Říjen	3.910	2.673	2.225
Listopad	1.647	1.066	1.206
Prosinec	0.472	1.133	0.912

Tab. č. 4 Celkové množství vyrobené energie v MWh v dynamické instalaci.

Z uvedených zdrojových dat je tedy potřeba udělat hodnoty pro stejný instalovaný výkon aby bylo porovnání vůbec možné. V tomto případě bude přepočten proveden jednoduše pouze přímou úměrou.

¹ V roce 2010 byl instalovaný výkon 45 KWp.

Po provedení přepočtu na stejnou hladinu tedy dostaneme tyto vypočtené hodnoty.

Přepočtené množství vyrobené energie na 40 KWp, statické			
[MWh]	2010	2012	2013
Leden	0.104	0.718	0.261
Únor	0.690	1.270	0.582
Březen	3.350	4.605	2.920
Duben	4.816	4.791	2.374
Květen	3.865	6.700	3.718
Červen	5.399	5.873	5.296
Červenec	5.939	5.469	6.974
Srpen	4.343	6.334	5.475
Září	3.793	3.800	2.849
Říjen	2.771	2.870	3.467
Listopad	0.897	0.683	0.570
Prosinec	0.104	0.246	0.647

Tab. č. 5 Přepočtené množství vyrobené energie na 40 KWp v MWh, statické, sklon 30°.

Přepočtené množství vyrobené energie na 40 KWp, dynamické			
[MWh]	2010	2012	2013
Leden	0.605	0.721	0.818
Únor	1.686	1.435	1.135
Březen	4.471	3.820	3.590
Duben	4.942	3.115	3.665
Květen	5.256	6.807	4.185
Červen	5.949	6.192	4.981
Červenec	7.657	7.909	6.631
Srpen	5.339	5.065	4.969
Září	3.368	4.831	5.866
Říjen	3.476	2.673	2.225
Listopad	1.464	1.066	1.206
Prosinec	0.420	1.133	0.912

Tab. č. 6 Přepočtené množství vyrobené energie na 40 KWp v MWh, dynamické, sklon 30°.

Relativní rozdíly mezi výrobou (dynamické - statické)			
[MWh]	2010	2012	2013
Leden	0.501	0.003	0.557
Únor	0.996	0.165	0.553
Březen	1.122	-0.785	0.670
Duben	0.127	-1.676	1.292
Květen	1.391	0.107	0.467
Červen	0.550	0.320	-0.315
Červenec	1.718	2.441	-0.342
Srpen	0.996	-1.269	-0.506
Září	-0.425	1.032	3.017
Říjen	0.705	-0.197	-1.242
Listopad	0.568	0.383	0.636
Prosinec	0.316	0.888	0.265
PRŮMĚR	0.714	0.118	0.421

Tab. č. 7 Přepočet na relativní rozdíly mezi výrobou statických a dynamických uložení v MWh.

Z porovnání jasně vyplývá, že dynamické uložení panelů je v celkovém součtu jednoznačně lepší. Avšak toto relativní porovnání je poměrně zavádějící. Není vhodné tyto odlišné systémy porovnávat takto po jednotlivých měsících z důvodu poměrně velkého zkreslení. K tomu dochází zejména v zimních měsících, kdy je výroba poměrně velmi nízká a tak je velmi snadné, aby dynamicky uložené panely v součtu za měsíc vyrobily násobně více. V celkovém množství vyrobené energie je však tato zimní výroba velmi zanedbatelná. Proto kdybychom porovnávali tímto způsobem, je možné dojít k výsledkům, že je dynamické uložení panelů lepší, až o 80 % což je při porovnání vyrobených energií za rok naprosto nesmyslná hodnota.

Z tohoto důvodu je tedy lepší porovnávat součty vyrobené energie za celé roky či jiné stanovené časové období a až z těchto dat následně vyvodit závěr. Pokud tedy sečteme vyrobené energie pro jednotlivé roky tak nám vychází celkové energie uvedené v následující tabulce.

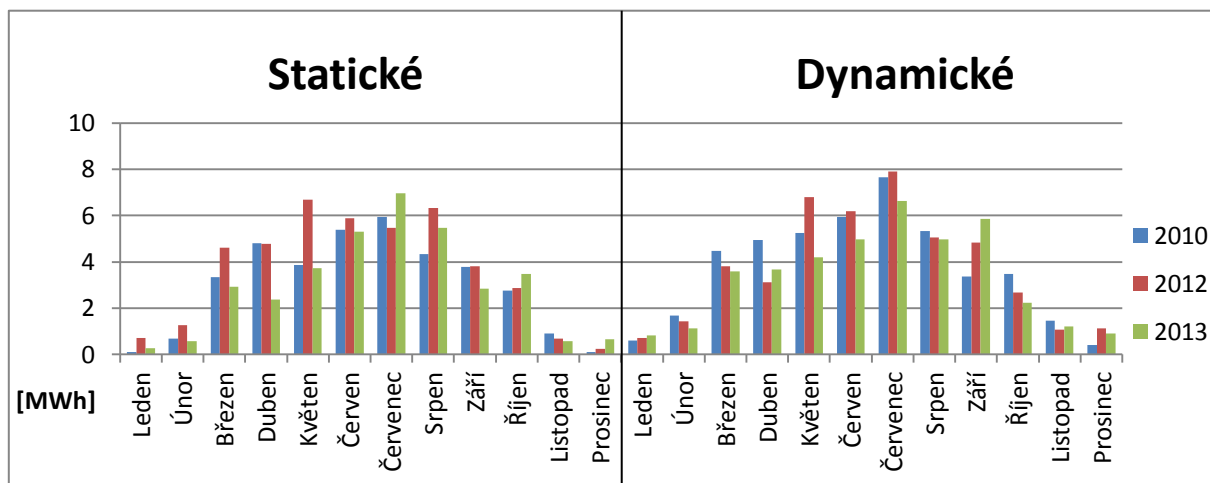
Přepočtené množství vyrobené energie na 40 KWp, statické			
[MWh]	2010	2012	2013
Součet	36.07	43.36	35.13

Tab. č. 8 Tabulka s naměřenými hodnotami v součtu za jednotlivé roky, statické.

Přepočtené množství vyrobené energie na 40 KWp, dynamické			
[MWh]	2010	2012	2013
Součet	44.63	44.77	40.18

Tab. č. 9 Tabulka s naměřenými hodnotami v součtu za jednotlivé roky, dynamické.

Z těchto hodnot už je možné udělat jednoznačný závěr. Při porovnání je patrné, že při přepočtu na procenta je v roce 2010 vyrobené energie o 23,74 % více. V dalších letech je to pak již jen 3,26 % v roce 2012 a 14,38 % v roce 2013. Celková průměrná vyrobená energie je tak v součtu za všechny tři roky vyšší průměrně o 13,79 %. Vzhledem k vyšším pořizovacím nákladům to není mnoho a značně se tím tak prodlužuje doba návratnosti. V celkovém energetickém souhrnu tedy vychází lépe dynamicky uložené panely, jak je patrné z grafu č. 8.



Graf č. 8 Celkové zobrazení staticky a dynamicky uložených panelů za sledované období.

Závěr

Práce by měla shrnovat důležité poznatky týkající se problematiky fotovoltaických elektráren, jejich instalace, sledování a měření účinnosti. Obsahuje popis jednotlivých komponent a jejich vliv na celkovou účinnost elektrárny.

Hlavním cílem práce je především navrhnout metodiku stanovení a vývoje účinnosti. Tato problematika je v práci podrobně popsána a vysvětlena. Právě z tohoto teoretického popisu pak také vychází hlavní metodické pokyny, jak průběžně zjišťovat a porovnávat účinnost fotovoltaické elektrárny v čase.

Na závěr práce je také uvedena ukázka reálné fungující elektrárny. Jde o menší fotovoltaický park, který je zajímavý tím, že jsou vedle sebe umístěny panely se statickým a dynamickým uložením. Právě z hlediska účinnosti je zajímavé tyto dvě instalace srovnat, zda se skutečně vyplatí investovat další prostředky do pohyblivých mechanismů pro fotovoltaické panely. Pohyblivé mechanismy jsou náročnější na údržbu a mohou zhoršit celkovou poruchovost celé elektrárny. Toto riziko je pak vykoupeno dodáním více energie v řádech desítek procent. V ukázkovém případě konkrétně vyšly na množství vyrobené energie lépe dynamicky uložené panely, které v průměru za sledované období 3 let vyrábějí o 13,79 % více. To není mnoho zejména kvůli oblačnosti, která velmi často panely odkloní od optimálního úhlu. Paradoxně tak dochází k ještě větším ztrátám, protože panely nejsou ideálně nakloněny veškerou průmětnou plochou ke zdroji dopadajícího záření. Opět pak nějakou dobu zabere, než dojde ke srovnání do správné pozice a každý tento pohyb spotřebuje další vyráběnou energii.

Pro správně fungující elektrárnu s nejvyšší účinností je tedy dobré mít na paměti tyto nejdůležitější poznatky. Mezi prvními z nich je potřeba zamezit jakémukoliv stínění, počet fotovoltaických panelů musí být ve všech větvích stejný. A v neposlední řadě je důležité také to, aby všechny panely v jednom stringu měly stejnou orientaci, tedy směr i úhel.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] KUSALA, Jaroslav. Z elektrárny do zásuvky. *ELEKTRINA* [online]. 2003 [cit. 2014-01-12]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/elektrina/4-4.htm>
- [2] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. *Fotovoltaika, elektrina ze slunce*. 1. vyd. Brno: ERA, 2007, vii, 81 s. ISBN 978-80-7366-100-7.
- [3] Fotovoltaika - sluneční záření v České republice. *Fotovoltaika v podmínkách České republiky* [online]. 2009 [cit. 2014-01-12]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx>
- [4] Mojeslunce.cz - Solární panely, fotovoltaika, FVE - Krátce o fotovoltaike; Sluneční energie v ČR. *Mojeslunce.cz* [online]. 2009-2013 [cit. 2014-01-12]. Dostupné z: <http://www.mojeslunce.cz/kratce-o-fotovoltaike/slunecni-energie-v-cr/>
- [5] KRIEG, Bernhard. *Strom aus der Sonne: Solartechnik in Theorie und Praxis*. 4. Aufl. Aachen: Elektor-Verl, 1994. ISBN 978-392-8051-057.
- [6] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Photovoltaics: theory and practice of solar energy utilization*. 1st ed. Prague: Ilsa, 2010, 169 s. ISBN 978-80-904311-2-6.
- [7] BALÁK, Rudolf; PROKEŠ, Karel. *Nové zdroje energie*. Praha : SNTL, 1984. 207 s
- [8] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2011, 176 s. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [9] Tracking system and MPPT Control for Efficiency Improvement of Photovoltaic. In: *International Conference on Control, Automation and Systems*. Seoul, Korea: IEEE, 2008, 1341- 1344. ISBN 978-89-93215-01-4, ISSN 978-89-950038-9-3. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4694386&tag=1>
- [10] On the Fundamental Efficiency Limits of Photovoltaic Converters for Optical Power Transfer Applications. In: *Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2013 IEEE 39th*. United Kingdom: IEEE, 2013, s. 1031-1035. ISBN 978-1-4799-3299-3. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6744317>
- [11] Photovoltaic efficiency of a grid connected 10 kWp system implemented in the Brasov area. In: ENESCA, Alexandru, Mihai COMSIT, Ion VISA a Anca DUTA. *Photovoltaic efficiency of a grid connected 10 kWp system implemented in the Brasov area*. Basov: IEEE, 2010, 1146 - 1151. ISBN 978-1-4244-7019-8 ISSN 1842-0133. DOI: 10.1109/OPTIM.2010.5510358. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5510358>
- [12] Shading and bypass diode impacts to energy extraction of PV arrays under different converter configurations. In: ZHENG, Huiying, Shuhui LI, Rajab CHALLOO a Julio PROANO. *Renewable Energy: An International Journal*. Kidlington: Elsevier, 2014, s. 58-66. ISSN 0960-1481. DOI: 10.1016/j.renene.2014.01.025. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/09601481>


- [13] Priority load control algorithm for optimal energy management in stand-alone photovoltaic systems. In: *Renewable Energy: An International Journal*. Kidlington: Elsevier, 2014, s. 156-162. ISSN 0960-1481. DOI: 10.1016/j.renene.2014.01.04. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/09601481>
- [14] A System-Level Control Strategy of Photovoltaic Grid-Tied Generation Systems for European Efficiency Enhancement. In: ZHANG, Li, Kai SUN, Haibing HU a Yan XING. *IEEE transactions on power electronics*. USA: IEEE-INST ELECTRICAL ELECTRONICS ENGINEERS INC, 445 HOES LANE, PISCATAWAY, NJ 08855-4141, 2014, s. 3445-3453. ISSN 0885-8993. DOI: 10.1109/TPEL.2013.2279334. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6595018>
- [15] Bělík, M. Solární elektroenergetické systémy. (přednáška) Plzeň, ZČU, 4. 4.2014
- [16] Bělík, M. Solární elektroenergetické systémy. (přednáška) Plzeň, ZČU, 25. 4. 2014
- [17] Bělík, M. Solární elektroenergetické systémy. (přednáška) Plzeň, ZČU, 2. 5. 2014
- [18] <http://www.fotovoltaiicke-solarni-elektrarny.cz>. *Nedomice okres Mělník - Solar Home* [online]. 2008 [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: <http://www.fotovoltaiicke-solarni-elektrarny.cz/nedomice>
- [19] Fotovoltaické systémy s východo-západní orientací a pouze jedním střídačem - TZB-info. <Http://oze.tzb-info.cz/> [online]. 2013 [cit. 2014-02-18]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaiika/9667-fotovoltaiicke-systemy-s-vychodo-zapadni-orientaci-a-pouze-jednim-stridacem>
- [20] Entropy Production: Photovoltaics: Multiple Electrons from one Photon. <Http://entropyproduction.blogspot.cz/> [online]. 2010 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://entropyproduction.blogspot.cz/2010/11/photovoltaics-multiple-electrons-from.html>
- [21] Solární články a jejich použití v senzorce a automatizaci | Automatizace.HW.cz. <Http://automatizace.hw.cz/> [online]. 2005 [cit. 2014-02-14]. Dostupné z: http://automatizace.hw.cz/images/solarni_clanky/char_parametru.gif
- [22] <Http://www.solarninovinky.cz/>. *Solární Novinky cz* [online]. 2010 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: http://www.solarninovinky.cz/index.php?rs=4&rl=2010012003&rm=15:29#.U23Z1fl_sRr
- [23] *Czech RE Agency - Fotovoltaický střídač: Účinnost není vše, důležitější je množství dodané energie...* [online]. 2009 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaiika/fv-stridac>
- [24] *Solární články z krystalického křemíku - základní technologie současné fotovoltaiiky - TZB-info* [online]. 2006 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3553-solarni-clanky-z-krystalickeho-kremiku-zakladni-technologie-soucasne-fotovoltaiiky>

- [25] *Měření fotovoltaiky termokamerou* [online]. 2013 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.tzb-energ.cz/mereni-fotovoltaiky.html>
- [26] *SUNNY TRIPOWER 10000TL / 12000TL / 15000TL / 17000TL. SMA Czech Republic s.r.o.* [online]. 2014 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://www.sma-czech.com/cs/produkty/stridace-pro-zapojeni-do-rozvodne-site/sunny-tripower/sunny-tripower-10000tl-12000tl-15000tl-17000tl.html>
- [27] *Fotovoltaika, fotovoltaické elektrárny | REGAM s.r.o.* [online]. 2012 [cit. 2014-03-18]. Dostupné z: <http://www.regam.cz/fotovoltaika.php?lang=cz>
- [28] *PV potential estimation utility* [online]. 2014 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- [29] *Solar tracker performance and economics in Australia - Solar Choice* [online]. 2010 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.solarchoice.net.au/blog/solar-trackers/>
- [30] *Strídač pro fotovoltaickou elektrárnu. Jakou technologii zvolíte? - TZB-info* [online]. 2013 [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/9555-stridac-pro-fotovoltaickou-elektrarnu-jakou-technologie-zvolite>
- [31] *Termovize :: IPEES - ELEKTRO s.r.o* [online]. 2011 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: <http://petr-seroiszka.webnode.cz/termovize/>
- [32] *RICE - Měření termokamerou* [online]. 2014 [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://rice.zcu.cz/cz/services/environment/services/termocamera.html>
- [33] *Analyzátor solár.článků PROVA 200 - MICRONIX, spol. s r.o.* [online]. 2009 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://eshop.micronix.cz/merici-technika/elektricke-veliciny/analyzatory-fv-panelu/prova-200.html>
- [34] *Fotovoltaické elektrárny - popis jak to funguje* [online]. 2012 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.nemakej.cz/fotovoltaicky-jev-a-idealni-podminky-pro-solarni-elektrarny.php>
- [35] *Výpočet výkonu vaší FVE* [online]. 2014 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://www.joyce-energie.cz/fotovoltaika/fve-na-klic/vypocet-vykonu-vasi-fve/>
- [36] *Popis technologie fotovoltaické elektrárny* [online]. 2013 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://www.termowatt.cz/fotovoltaicke-elektrarny/popis-technologie.aspx>
- [37] *Zapojení fotovoltaické elektrárny* [online]. 2009 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://www.solarni-system.cz/fotovoltaika/zjednodusene-schema-zapojeni-fotovoltaicke-elektrarny-v-rodinnem-dome>

- [38] *Univerzální měřicí přístroj pro revize elektrických instalací a fotovoltaických elektráren* [online]. 2013 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/10310-univerzalni-merici-pristroj-pro-revize-elektrickych-instalaci-a-fotovoltaickych-elektraren>
- [39] *PV test - diagnostická laboratoř* [online]. 2014 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.solartec.cz/rozsahle-instalace/provozovani-fve-elektraren/pv-test-diagnosticka-laborator>
- [40] *Účinnost FVE* [online]. 2011 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.zlutaenergie.cz/ucinnost-fve>

Přílohy

A – Flash report dodávaný s FV panely


Changzhou Trina Solar Energy Co., Ltd.
Flash Report

PI No.: TSZA110431003XSI063-304

Customer: Proinso

Container No TCNU9556188/CH6738682

TSM-230PC05

No.	S/N	Isc(A)	Voc(V)	Pmax(W)	Vpm(V)	Ipm(A)	FF	Pallet No.	Color Grad	Container No.	Lot No.
1	4.1004E+10	8.38	36.98	232.52	29.33	7.93	75.06%	4100413066MC4	1	TCNU9556188/CH6738682DGC101	DGC101
2	4.1004E+10	8.38	36.87	230.03	28.83	7.98	74.41%	4100413066MC4	1	TCNU9556188/CH6738682DGC101	DGC101
3	4.1005E+10	8.43	37.10	233.97	29.14	8.03	74.77%	4100413066MC4	1	TCNU9556188/CH6738682DGC101	DGC101
4	4.1005E+10	8.40	36.85	231.39	28.90	8.01	74.78%	4100413066MC4	1	TCNU9556188/CH6738682DGC101	DGC101
5	4.1005E+10	8.47	36.87	232.36	29.09	7.99	74.45%	4100413066MC4	1	TCNU9556188/CH6738682DGC101	DGC101
6	4.1005E+10	8.39	37.07	233.25	29.23	7.98	75.03%	4100413066MC4	1	TCNU9556188/CH6738682DGC101	DGC101
7	4.1005E+10	8.43	36.97	231.91	28.96	8.01	74.37%	4100413066MC4	1	TCNU9556188/CH6738682DGC101	DGC101
8	4.1005E+10	8.42	37.00	230.32	29.11	7.91	73.93%	4100413066MC4	1	TCNU9556188/CH6738682DGC101	DGC101
9	4.1005E+10	8.46	37.07	233.94	29.24	8.00	74.56%	4100413066MC4	1	TCNU9556188/CH6738682DGC101	DGC101
10	4.1005E+10	8.46	37.09	234.51	29.41	7.97	74.75%	4100413066MC4	1	TCNU9556188/CH6738682DGC101	DGC101
11	4.1005E+10	8.45	37.00	233.93	29.23	8.00	74.79%	4100413066MC4	1	TCNU9556188/CH6738682DGC101	DGC101
12	4.1005E+10	8.45	37.03	234.07	29.12	8.04	74.78%	4100413066MC4	1	TCNU9556188/CH6738682DGC101	DGC101
13	4.1005E+10	8.46	37.13	234.54	29.28	8.01	74.63%	4100413066MC4	1	TCNU9556188/CH6738682DGC101	DGC101
14	4.1005E+10	8.47	37.09	234.72	29.10	8.07	74.75%	4100413066MC4	1	TCNU9556188/CH6738682DGC101	DGC101
15	4.1005E+10	8.47	37.09	233.27	29.50	7.91	74.26%	4100413066MC4	1	TCNU9556188/CH6738682DGC101	DGC101
16	4.1005E+10	8.49	37.06	231.48	29.38	7.88	73.59%	4100413066MC4	1	TCNU9556188/CH6738682DGC101	DGC101
17	4.1005E+10	8.44	37.13	234.02	29.20	8.02	74.68%	4100413066MC4	1	TCNU9556188/CH6738682DGC101	DGC101
18	4.1005E+10	8.40	37.04	233.45	29.15	8.01	74.99%	4100413066MC4	1	TCNU9556188/CH6738682DGC101	DGC101
19	4.1005E+10	8.44	37.04	233.55	29.48	7.92	74.67%	4100413066MC4	1	TCNU9556188/CH6738682DGC101	DGC101
20	4.1005E+10	8.44	36.91	232.37	28.96	8.02	74.59%	4100413066MC4	1	TCNU9556188/CH6738682DGC101	DGC101

B – Fotodokumentace nosných konstrukcí



Obr. č. 13 Umístění střídačů přímo u panelů.



Obr. č. 14 Celkový pohled na panely pohyblivé v jedné ose.



Obr. č. 15 Celkový pohled na staticky uložené panely.



Obr. č. 16 Panely na střeše výrobní haly.