



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

**ZAVEDENÍ METODY MĚŘENÍ
FOTOVOLTAICKÝCH MODULŮ PŘI
PODMÍNKÁCH NOCT**

INTRODUCTION OF A METHOD FOR MEASURING PHOTOVOLTAIC MODULES UNDER
NOCT CONDITIONS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Melichařík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

BRNO 2022

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav elektrotechnologie

Student: Martin Melichařík

ID: 220839

Ročník: 3

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Zavedení metody měření fotovoltaických modulů při podmínkách NOCT

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s analytickými metodami pro testování fotovoltaických modulů. Přizpůsobte stávající metodiku měření parametrů fotovoltaických panelů při STC tak, aby šlo měřit parametry panelů při NOCT. Metodiku ověřte a stanovte nejistotu navrhované metody.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle doporučení vedoucího závěrečné práce.

Termín zadání: 7.2.2022

Termín odevzdání: 2.6.2022

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Abstrakt

Tato práce se zaměřuje na návrh metody testování fotovoltaických panelů při podmínkách NOCT, tedy při provozní teplotě fotovoltaického článku, která má zásadní vliv na jeho výkon a ostatní parametry. Otestování a ověření metody probíhalo na slunečním simulátoru Pasan SunSim 3c. Nedílnou součástí této práce je také stanovení nejistot této metody měření.

Klíčová slova

Fotovoltaický článek
Fotovoltaický panel
Voltampérová charakteristika
Standardní testovací podmínky
Nominální provozní teplota článku

Abstract

This work focuses on the design of a method for testing photovoltaic panels under NOCT conditions, ie at the operating temperature of the photovoltaic cell, which has a major impact on its performance and other parameters. The method was tested and verified on a Pasan SunSim 3c solar simulator. An integral part of this work is also to determine the uncertainties of this measurement method.

Keywords

Photovoltaic cell
Photovoltaic panel
Volt-ampere characteristic
Standard test conditions
Nominal operating temperature cell

Bibliografická citace

MELICHAŘÍK, Martin. Zavedení metody měření fotovoltaických modulů při podmínkách NOCT [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-30]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/142751>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie. Vedoucí práce Jiří Vaněk.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	<i>Martin Melichařík</i>
VUT ID studenta:	220839
Typ práce:	<i>Bakalářská práce</i>
Akademický rok:	2021/22
Téma závěrečné práce:	<i>Zavedení metody měření fotovoltaických modulů při podmínkách NOCT</i>

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 30. května 2022

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Jiřímu Vaňkovi, Ph.D. a konzultantovi Martinu Šturmovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: 30. května 2022

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK.....	10
ÚVOD	11
1. ZÁKLADNÍ POJMY TÝKAJÍCÍ SE FOTOVOLTAIKY	12
1.1 FOTVOLTAICKÝ ČLÁNEK	12
1.2 FOTVOLTAICKÝ JEV	13
1.3 FOTVOLTAICKÝ PANEL.....	14
1.3.1 Složení fotovoltaického panelu.....	15
1.4 DRUHY FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ	16
1.4.1 Monokrystalický solární článek	16
1.4.2 Polykrystalický solární článek	17
1.4.3 Amorfni solární článek.....	18
1.4.4 Další používané druhy solárních článků.....	18
1.4.5 Efektivita křemikových fotovoltaických článků	19
2. METODIKA TESTOVÁNÍ.....	20
2.1 MĚŘENÍ VOLTAMPÉROVÉ CHARAKTERISTIKY SOLÁRNÍCH PANELŮ	20
2.1.1 Standardní testovací podmínky – STC	21
2.1.2 Nominální provozní podmínky – NOCT	22
2.1.3 Kontinuální metoda.....	22
2.1.4 Metoda FLASH	22
2.2 TESTOVÁNÍ S VYUŽITÍM LUMINISCENCE	22
2.2.1 Fotoluminiscence	22
2.2.2 Elektroluminiscence	23
2.3 DRUHY OHŘEVU MOŽNÉ POUŽÍT PRO MĚŘENÍ PŘI NOCT.....	24
2.3.1 Ohřev pomocí infračerveného záření.....	24
2.3.2 Ohřev pomocí proudění teplého vzduchu.....	24
2.3.3 Ohřev pomocí Joulova tepla	24
2.3.4 Výhody a nevýhody jednotlivých ohřevů	24
3. NEJISTOTY MĚŘENÍ.....	25
3.1 NEJISTOTA TYPU A.....	25
3.2 NEJISTOTA TYPU B	26
3.3 NEJISTOTA KOMBINOVANÁ A ROZŠÍŘENÁ.....	26
4. MĚŘENÍ VA CHARAKTERISTIKY POMOCÍ PŘÍSTROJE PASAN SUNSIM 3C	27
4.1 ČÁSTI PASAN SUNSIM 3C	28
4.1.1 Zábleskový generátor.....	28
4.1.2 Světelný box	29
4.1.3 Elektronická zátěž	30
4.1.4 Monitorovací článek	31
4.1.5 Kabeláž Pasan SunSim 3c.....	31
4.1.6 Softwarové vybavení SPROD.....	32
4.2 NEJISTOTY MĚŘENÍ SLUNEČNÍHO SIMULÁTORU PASAN SUNSIM 3C.....	33

5.	VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ.....	34
5.1	PARAMETRY ANALYZOVANÉHO FOTOVOLTAICKÉHO MODULU RICH SOLAR RS-M185	34
5.2	NAMĚŘENÁ VA CHARAKTERISTIKA POMOCÍ SLUNEČNÍHO SIMULÁTORU	35
5.3	SNÍMEK ZÍSKANÝ POMOCÍ ELEKTROLUMINISCENCE	36
5.4	POSOUZENÍ STAVU FV MODULU RICH SOLAR RS-M185	37
6.	MĚŘENÍ VOLTAMPÉROVÉ CHARAKTERISTIKY FOTOVOLTAICKÝCH MODULŮ PŘI NOCT.....	38
6.1	NÁVRH POSTUPU MĚŘENÍ	38
6.1.1	<i>Zahřátí fotovoltaických článků modulu na teplotu NOCT</i>	<i>38</i>
6.1.2	<i>Přizpůsobení slunečního simulátoru</i>	<i>39</i>
6.2	POSTUP MĚŘENÍ A OVĚŘENÍ METODIKY MĚŘENÍ	40
6.2.1	<i>Měření při NOTC.....</i>	<i>40</i>
6.2.2	<i>Ověření metody</i>	<i>43</i>
7.	STANOVENÍ NEJISTOTY METODY MĚŘENÍ PRO PODMÍNKY NOCT	46
7.1	STANOVENÍ NEJISTOTY MĚŘENÍ TEPLoty POMOCÍ TERMOKAMERY FLIR i7	46
7.1.1	<i>Stanovení nejistoty termokamery Flir i7</i>	<i>46</i>
7.1.2	<i>Stanovení nejistoty teploty vzhledem k nerovnoměrnému ohřevu plochy.....</i>	<i>47</i>
7.1.3	<i>Stanovení výsledné nejistoty měření teploty termokamerou Flir i7</i>	<i>47</i>
7.2	STANOVENÍ NEJISTOTY MĚŘENÍ SLUNEČNÍHO SIMULÁTORU PŘI MĚŘENÍ PARAMETRŮ PŘI PODMÍNKÁCH NOCT	48
7.2.1	<i>Nejistota zkratového proudu U_{Isc}.....</i>	<i>48</i>
7.2.2	<i>Nejistota napětí na prázdko U_{Uoc}.....</i>	<i>48</i>
7.2.3	<i>Nejistota výkonu v bodě maximálního výkonu U_{Pmpp}.....</i>	<i>48</i>
7.2.4	<i>Nejistota napětí v bodě maximálního výkonu U_{Umpp}.....</i>	<i>49</i>
7.2.5	<i>Nejistota proudu v bodě maximálního výkonu U_{Impp}.....</i>	<i>49</i>
7.2.6	<i>Nejistota činitele plnění U_{FF}</i>	<i>49</i>
7.2.7	<i>Nejistota účinnosti U_{EF}</i>	<i>49</i>
7.2.8	<i>Souhrn nejistot pro navrženou metodiku měření FV panelů při NOCT</i>	<i>49</i>
7.3	VÝSLEDKY PROVEDENÝCH MĚŘENÍ.....	50
8.	ZÁVĚR.....	51
	LITERATURA.....	52
	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	53
	SEZNAM PŘÍLOH.....	55

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 Fotovoltaický článek [2].....	12
Obrázek 1.2 Konstrukce fotovoltaického článku [4]	13
Obrázek 1.3 Fotovoltaický panel DAH solar 330wp [5]	14
Obrázek 1.4 Skladba fotovoltaického panelu [6].....	15
Obrázek 1.5 Monokrystalický solární článek [8].....	16
Obrázek 1.6 Polykrystalický solární článek [9].....	17
Obrázek 1.7 Amorfni solární články [10].....	18
Obrázek 1.8 GaAs fotovoltaický modul	19
Obrázek 2.1 Voltampérová charakteristika fotovoltaického článku [11].....	20
Obrázek 2.2 Vliv teploty na VA charakteristiku fotovoltaického modulu [3].....	21
Obrázek 2.3 Snímek elektroluminiscence fotovoltaického panelu	23
Obrázek 4.1 Zapojení Pasan SunSim 3c [16]	27
Obrázek 4.2 Záblesková generátor Pasan SunSim 3c [16]	28
Obrázek 4.3 Elektronické zásuvné karty zábleskového generátoru Pasan SunSim 3c [16].....	29
Obrázek 4.4 Zábleskový box Pasan SunSim 3c [16]	29
Obrázek 4.5 Elektronická zátěž Pasan SunSim 3c [16]	30
Obrázek 4.6 Monitorovací článek Pasan SunSim 3c [16].....	31
Obrázek 4.7 "Anakonda" kabel a řídicí kabel [16]	31
Obrázek 4.8 Rozhraní s vykreslenou VA charakteristikou programu SPROD [16]	32
Obrázek 5.1 Výrobní štítek RICH SOLAR RS-M185.....	34
Obrázek 5.2 Změřená VA charakteristika modulu RICH SOLAR RS-M185	35
Obrázek 5.3 Snímek elektroluminiscenčního záření FV panelu RICH SOLAR RS-M185	36
Obrázek 6.1 Snímek termokamerou zahřátého panelu Solartech 55 Wp na průměrnou teplotu 44 °C	39
Obrázek 6.2 Filtr slunečního simulátoru s označením 700 W/m ²	39
Obrázek 6.3 FV panel Kyocera KD140GH-2PU připojený k DC zdroji LXI CPX400SP	40
Obrázek 6.4 Nastavení profilu panelu v programovém prostředí SPROD	41
Obrázek 6.5 Nastavení filtru 700 W/m ² v programovém prostředí SPROD	42
Obrázek 6.6 Snímek elektroluminiscence Kyocera KD140GH-2PU	43
Obrázek 6.7 Snímek termokamerou FV modulu Kyocera KD140GH-2PU pro měření při NOCT.....	45
Obrázek 6.8 Snímek termokamerou FV modulu Sunergy SUN 72M-H6 450Wp pro měření při NOCT ..	45
Obrázek 7.1 Termokamera Flir i7.....	46
Obrázek 7.2 FV modul Kyocera KD140GH-2PU pro měření při NOCT v programu Flir QuickReport ...	47

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.1 Typická účinnost křemíkových fotovoltaických článků v roce 2011 [11]	19
Tabulka 2.1 Porovná jednotlivých metod ohřevu	24
Tabulka 3.1 Koeficienty k_s pro výpočet nejistoty u_a [15].....	25
Tabulka 3.2 Koeficientu χ dle rozložení [15]	26
Tabulka 3.3 Koeficientu k_r pro různé pravděpodobnosti [15]	26
Tabulka 4.1 Elektronické zásuvné karty zábleskového boxu Pasan SunSim 3c [16]	29
Tabulka 4.2 Elektronické zásuvné karty elektronické zátěže Pasan SunSim 3c [16]	30
Tabulka 4.3 Nejistoty výstupních hodnot slunečního simulátoru	33
Tabulka 5.1 Porovnání hodnot FV modulu RICH SOLAR RS-M185.....	37
Tabulka 6.1 Odečtené hodnoty teplot plochy panelu Solartech 55 Wp dle obrázku 6.2.....	38
Tabulka 6.2 Nastavení profilů v prostředí SPROD FV modulů pro jednotlivá měření	41
Tabulka 6.3 Přibližné očekávané hodnoty stanovené výpočtem.....	44
Tabulka 6.4 Naměřené hodnoty pro ověření metody na FV modulu Kyocera	44
Tabulka 6.5 Naměřené hodnoty pro ověření metody na FV modulu Sunergy.....	44
Tabulka 7.1 Nejistoty měření pro navrženou metodu měření.....	49
Tabulka 7.2 Výsledky měření FV modulu Sunergy včetně nejistot.....	50
Tabulka 7.3 Výsledky měření FV modulu Kyocera včetně nejistot	50
Tabulka 8.1 Porovnání nejistot měření při STC a NOCT	51

ÚVOD

V dnešní době trh s fotovoltaickými systémy je jeden z nejvíce se rozvíjejících trhů v oblasti obnovitelné energie, který se rozšiřuje i do soukromé sféry. S rostoucí poptávkou roste také produkce a posouvá se vývoj těchto technologií rychleji, proto je za potřebí především rychlá a přesná analýza jednotlivých komponent, jako jsou fotovoltaické moduly, popřípadě články, kterými se budeme dále zabývat podrobněji. Jednou z nejrychlejších metod analýzy fotovoltaického modulu je metoda FLASH využívající krátkého záblesku za takzvaných standardních podmínek – STC, při kterém dojde k změření voltampérové charakteristiky. Vzhledem k tomu, že parametry při podmínkách STC neodpovídají reálným parametrům při běžném provozu FV modulů, začínají se čím dál častěji objevovat parametry FV panelů na štítcích či v katalogových listech ve spojení s nominální provozní teplotou článku (modulu) – NOCT.

1. ZÁKLADNÍ POJMY TÝKAJÍCÍ SE FOTOVOLTAIKY

1.1 Fotovoltaický článek

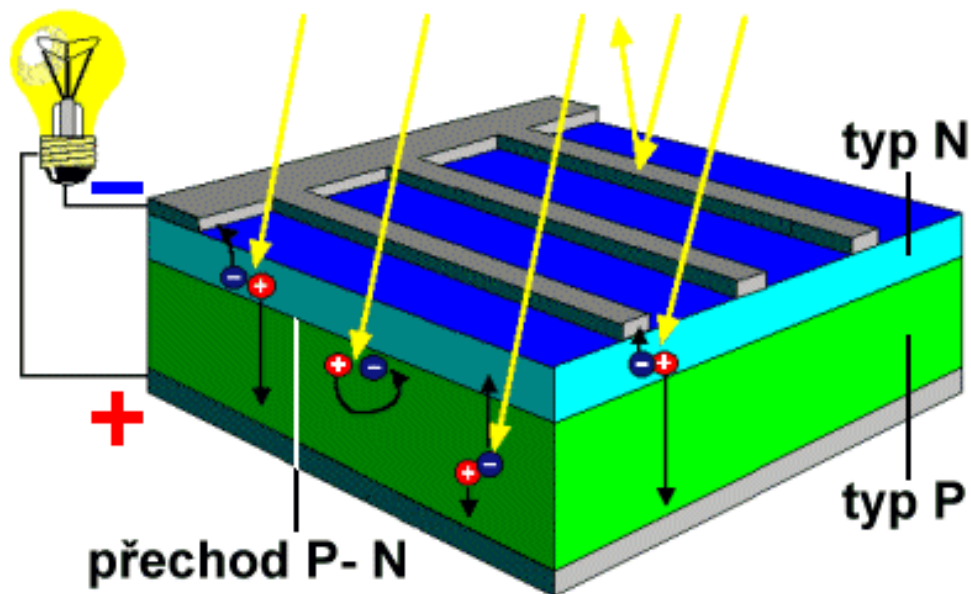
V roce 1839 ve své publikaci jako první zmiňuje francouzský fyzik Edmond Becquerel, že při vystavení materiálu světlu dochází k vytvoření napětí. O 37 let později byli londýnský profesor William Grylls Adams a jeho student Richard Evens Day svědky fotovoltaického jevu, když vystavili selen slunečnímu světlu a ten následně začal generovat elektrický proud. Generované množství elektrické energie, avšak nebylo dostatečné pro napájení tehdejších elektrických zařízení, ale dokázali, že lze generovat elektrickou energii pomocí pevných materiálů bez mechanických částí. Zde došlo k zrození myšlenky k vytvoření prvního fotovoltaického článku. Roku 1883 americký vynálezce Charles Fritts zkonstruoval první fotovoltaický článek na bázi selenu, který byl potažen tenkou vrstvou zlata. Tento selenový článek měl účinnost přibližně 1 %, ale princip článku nikdo nedokázal objasnit. Až Albert Einstein ve své práci „O heuristickém hledisku dotýkajícím se vzniku a přeměny světla“ popisuje světelná kvanta (fotony) a objasňuje podstatu fotoelektrického jevu. Později také za tuto práci obdržel Nobelovu cenu. Američtí vědci Calvin Fuller a Gerald Pearson v roce 1954 objevili křemíkový fotovoltaický článek s účinností kolem 6 %. Panely složené z těchto článků byly schopné vyprodukovat dostatečné množství energie pro domácnost a později byly použity pro pohon satelitů obíhajících kolem země. V roce 1973 Dr. Elliot Berman vyvinul polykrystalický křemíkový fotovoltaický článek, který měl nižší účinnost než monokrystalický, ale byl výrazně levnější. Později využití fotovoltaických panelů rostlo díky vyšší dostupnosti a průmyslovému využití. [1]



Obrázek 1.1 Fotovoltaický článek [2]

1.2 Fotovoltaický jev

Při dopadu fotonu s dostatečnou energií na povrch solárního článku je využit vnitřní fotovoltaický jev, při kterém vyražením elektronu z obalu atomu vzniká díra s kladným nábojem. Tyto vzniklé díry a volné elektrony se oddělí pomocí elektrického pole na rozhraní PN přechodu. V polovodiči typu P máme přebytek volných děr (kladný náboj) a v polovodiči typu N volné elektrony (záporný náboj), což má za následek vznik napětí mezi elektrodami P a N. Pokud dojde ke spojení těchto elektrod, dojde k zaplnění děr v polovodiči typu P volnými elektrony z polovodiče typu N (vyrovnání náboje mezi elektrodami), což má za následek tok elektrického proudu mezi elektrodami. Typické napětí křemíkového článku bývá kolem 0,6 V. [3]



Obrázek 1.2 Konstrukce fotovoltaického článku [4]

1.3 Fotovoltaický panel

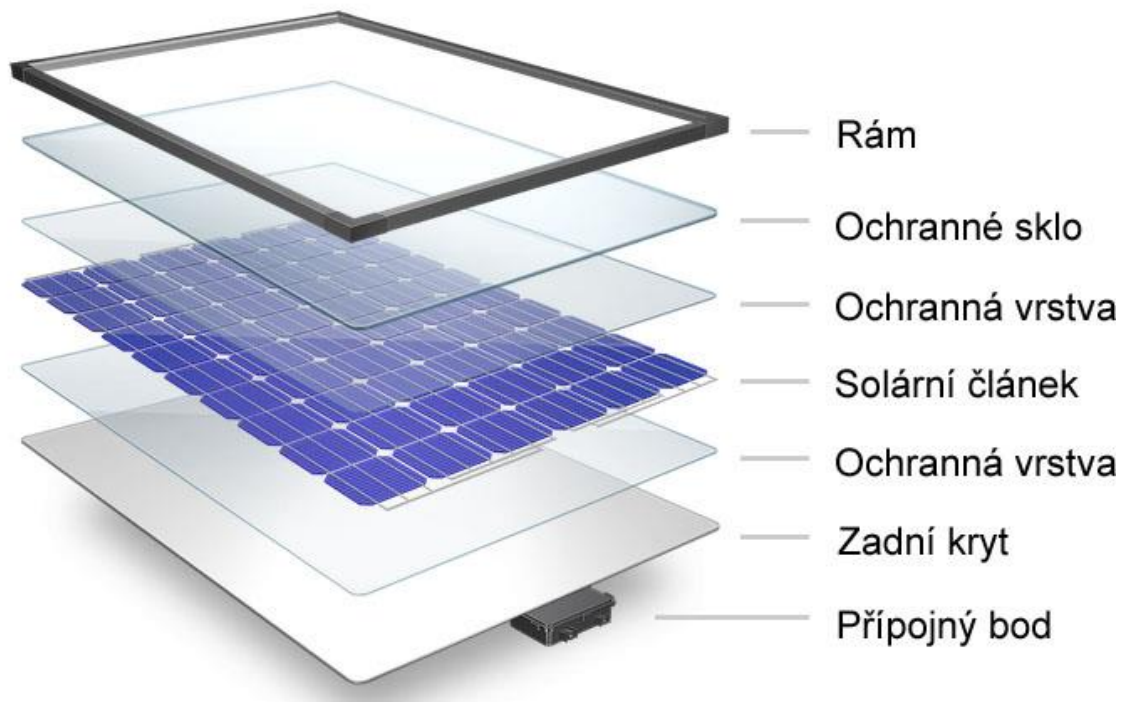
Fotovoltaický modul (panel) se skládá ze solárních článků, zpravidla zapojených do série, z důvodu dosažení vyššího napětí v řádu desítek až stovek voltů. Fotovoltaické panely je možno zapojit sériově, případně paralelně dle požadovaných výstupních parametrů. Dělení fotovoltaických panelů se odvíjí použitých fotovoltaických článků použitých při výrobě. Pro komerční využití se v dnešní době nejčastěji používají krystalické křemíkové fotovoltaické panely, hlavně díky své vysoké účinnosti a dostupnosti. Vlastnosti fotovoltaických modulů uváděné výrobcem se vztahují k tzv. standardním testovacím podmínkám, pokud není uvedeno jinak, z důvodu, aby bylo možné posoudit stav modulu.



Obrázek 1.3 Fotovoltaický panel DAH solar 330wp [5]

1.3.1 Složení fotovoltaického panelu

Fotovoltaický panel se skládá ze sériově zapojených fotovoltaických článků, které jsou uloženy v hliníkovém rámu. Povrch fotovoltaických článků bývá chráněn před mechanickým poškozením pevnostním sklem. Moderní panely jsou vybaveny antireflexní vrstvou z oxidu titanu pro vyšší účinnost (způsobuje minimalizaci odrazů světla od panelu). [3]



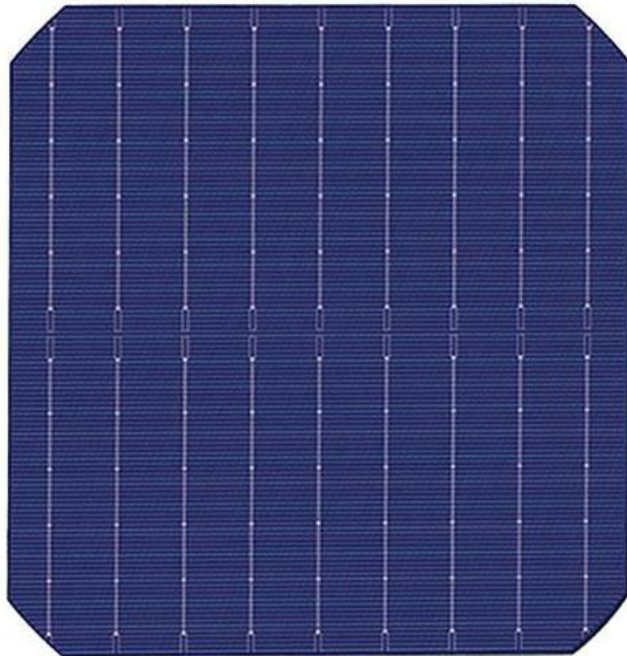
Obrázek 1.4 Skladba fotovoltaického panelu [6]

1.4 Druhy fotovoltaických článků

Fotovoltaické články se dají vyrobit z různých materiálů, ale vzhledem k efektivitě a ceně se dnes pro aplikace fotovoltaických systémů využívá nejčastěji křemíkových polovodičových materiálů.

1.4.1 Monokrystalický solární článek

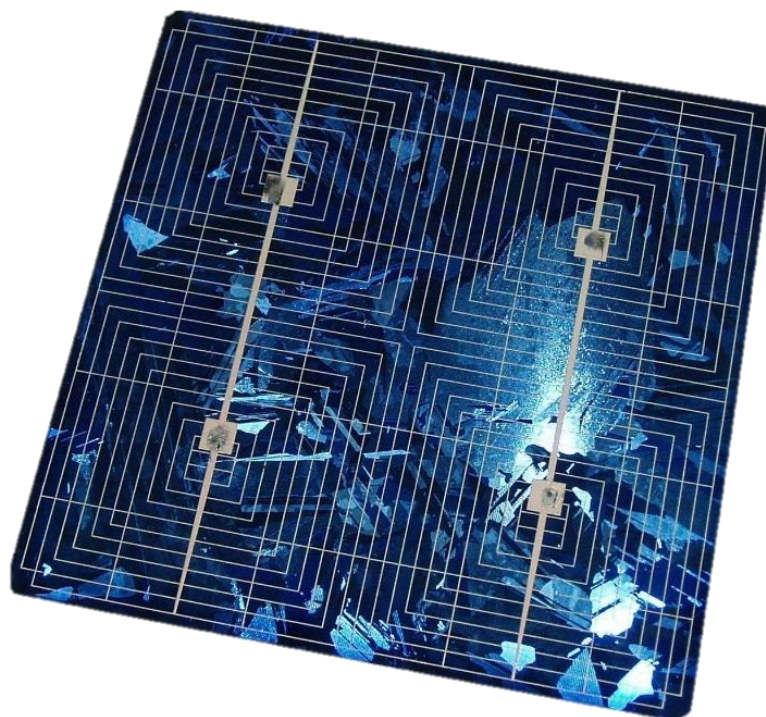
Nejstarší a nejrozšířenější technologie pro komerční využití díky své vysoké účinnosti. Název vychází z postupu výroby křemíkového substrátu – monokrystalu křemíku, který je vyráběný za přísných podmínek. Monokrystal se poté rozřeže na plátky požadované tloušťky. Velikost článku se pak odvíjí od velikosti monokrystalu, typicky se jedná o šířku v jednotkách až desítkách centimetrů. Porovnání s ostatními typy solárních článků mají monokrystalické články výhodu ve svojí účinnosti přes 20 %, ale jejich nevýhodou je vysoká cena způsobená nákladnou výrobou základního materiálu – tedy monokrystalického křemíku. V posledních letech se daří optimalizovat výrobu monokrystalického křemíku, a i snížit jeho cenu, s kterou klesla i cena monokrystalických panelů. Na poklesu ceny má také značný vliv rozšíření fotovoltaických systémů a konkurenční boj. Největší nevýhodou těchto panelů je efektivita závislá na teplotě článků, tj. že se stoupající teplotou od 25 °C klesá účinnost, proto je dobré z obou stran článku zajistit dostatečný prostor pro proudění vzduchu (jedná se především o aplikace panelů na střešních konstrukcích). [7]



Obrázek 1.5 Monokrystalický solární článek [8]

1.4.2 Polykrystalický solární článek

Polykrystalické neboli multikrystalické solární články se skládají z křemíkových odřezků (např. zbytky po výrobě například monokrystalických článků), které jsou tvarovány do bloků, kde utváří strukturu tvořenou jednotlivými monokrystaly křemíku. Vzhledem k nedokonalosti spoje mezi jednotlivými krystaly dochází v těchto místech ke ztrátám, což má za následek nižší účinnost oproti monokrystalickým článkům, ale jejich výhodou je schopnost pohltit energii ze světla ze všech úhlu i při nízké hladině osvětlení. Vzhled solárního článku oproti monokrystalickému solárnímu článku se liší především zbarvením, z důvodu že polykrystalický solární článek odráží část světla, tak se jeví jako světlejší. Při detailním pohledu můžeme polykrystalický solární článek poznat podle nehomogenní struktury křemíku. [7]



Obrázek 1.6 Polykrystalický solární článek [9]

1.4.3 Amorfni solární články

Amorfni křemík má uspořádání atomů náhodné oproti krystalickému křemíku, díky tomu dokáže zachytit více světla při stejné tloušťce polovodičové vrstvy. To umožňuje vytvářet vrstvy o tloušťce kolem 1 μm , které zachytí dostatečné množství světla. Mezi jejich hlavní výhody patří mechanická odolnost a flexibilita, díky tomu jsou ideální například pro přenosná zařízení jako jsou kalkulačky, hodinky. [10]



Obrázek 1.7 Amorfni solární články [10]

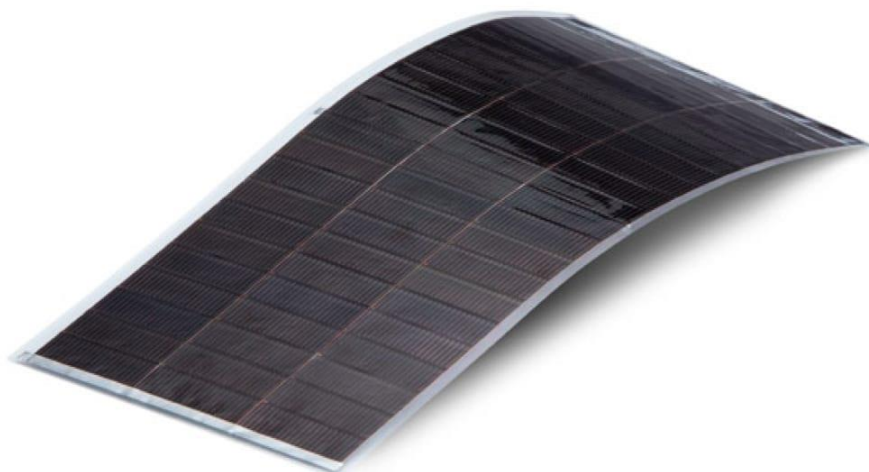
1.4.4 Další používané druhy solárních článků

Galium arzenikové (GaAs) články na bázi polovodičové sloučeniny těchto dvou prvků byly vynalezeny spolu s dalšími elektronickými součástkami, které využívají světlo (například diody nebo lasery). Tento článek je dostupný v různých provedeních, z nich nejčastěji využívá tenkou přechodovou vrstvu z hliníku, která vytvoření páru elektron-díra v blízkosti elektrického pole přechodu. GaAs články mají několika násobně vyšší absorptivitu oproti krystalickým křemíkovým článkům, tudíž stačí velmi tenká vrstva pouze několika mikronů k dostatečnému zachycení světla. Teplotní závislost GaAs článků je téměř zanedbatelná a spolu s vysokou odolností vůči poškození ozářením jsou tyto články ideální pro vesmírné aplikace. [7]

Solární články na bázi polykrystalického materiálu teluridu kadmia (CdTe) s téměř ideální šířkou zakázaného pásu 1,44 eV pro absorpci slunečního záření s vysokým činitelem absorpce se v dnešní době téměř nepoužívají z důvodu obsahu kadmia, což má za následek nákladný a nebezpečný proces likvidace a recyklace. [7]

CIS a CIGS jsou polovodičové materiály pro výrobu fotovoltaických článků složené z mědi, india a selenu (CIGS s přísadkou galia), které vytváří heterogenní struktury s různými šířkami zakázaného pásu mezi polovodiči. Přidáním galia do spodní vrstvy článku zlepšujeme jeho vlastnosti. [7]

Solární články z organických materiálů jsou nejnovější evolucí v této oblasti. Jsou složeny buď nízkomolekulárních látek nebo látek na bázi polymerů. Efektivita kolem přes 10 % s potenciální nízkou cenou je ale vyvážena zatím nízkou dlouhodobou spolehlivostí a z toho důvodu se zatím běžně nevyužívá. [7]



Obrázek 1.8 GaAs fotovoltaický modul

1.4.5 Efektivita křemíkových fotovoltaických článků

Křemíkové fotovoltaické články nebo moduly z nich složené jsou nejrozšířenější ve fotovoltaických systémech především díky své účinnosti. Účinnost závisí především na úhlu a spektru dopadajícího slunečního záření a teplotě fotovoltaických článků.

Tabulka 1.1 Typická účinnost křemíkových fotovoltaických článků v roce 2011 [11]

Typ solárního článku	Typická efektivita článku za běžných podmínek	Maximální efektivita článku za běžných podmínek	Maximální efektivita článku naměřená v laboratoři při STC
	[%]	[%]	[%]
Monokrystalický křemíkový solární článek	12-16	22	25
Polykrystalický křemíkový článek	11-14	16	20
Amorfní křemíkový solární článek	5-7	10	13

Dnešní solární články dosahují o něco vyšší účinnosti díky pokročilejším technologiím.

2. METODIKA TESTOVÁNÍ

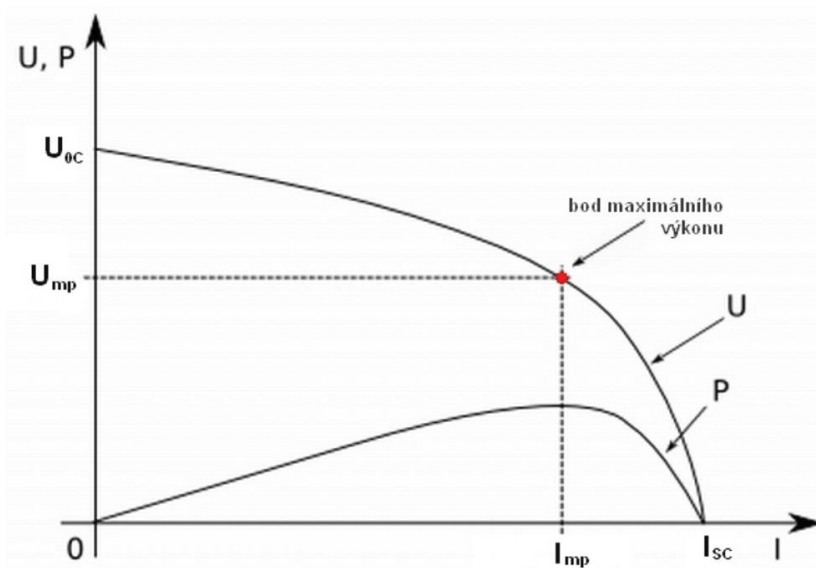
Pro posouzení a vyhodnocení stavu fotovoltaických modulů (panelů) je možné zvolit následující metody.

2.1 Měření voltampérové charakteristiky solárních panelů

Voltampérová charakteristika je základní charakterizující informací o fotovoltaickém článku, můžeme z ní odečíst napětí na prázdko U_{oc} a proud na krátko označovaný I_{sc} . Napětí na prázdko je výstupní napětí fotovoltaického panelu, kdy mezi svorkami není připojená zátěž, tedy odpor mezi nimi je v ideálním případě nekonečný. Proud na krátko je maximální možný proud, který je článek schopen dodávat. Voltampérová charakteristika fotovoltaického panelu je závislá na jeho osvětlení. Z voltampérové charakteristiky lze určit také výkon fotovoltaického panelu v daném bodě. Důležitou informací charakteristiky je bod maximálního výkonu označovaný jako MPP

$$P_{MPP} = U_{MPP} * I_{MPP} , \quad (2.1)$$

kde napětí U_{MP} a proud I_{MP} jsou hodnoty v bodě MPP V-A charakteristiky.[11]



Obrázek 2.1 Voltampérová charakteristika fotovoltaického článku [11]

Další informací, kterou lze vyčíst z VA charakteristiky, je tzv. činitel plnění (označován jako FF – fill factor). Činitel plnění vypočítáme z rovnice

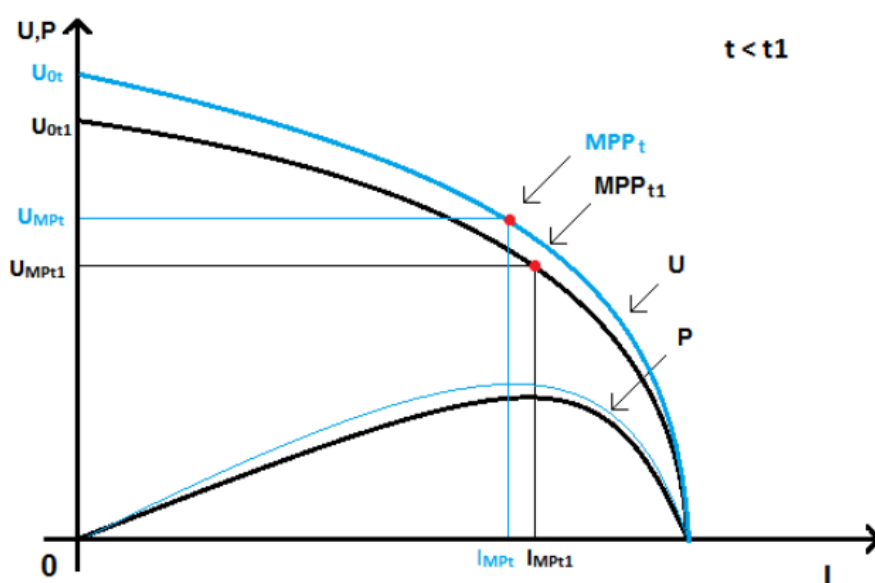
$$FF = \frac{U_{MPP} * I_{MPP}}{U_{oc} * I_{sc}} , \quad (2.2)$$

což je podíl výkonu v bodě MPP a výkonu stanoveným výpočtem ze zkratového proudu a napětí na prázdko. [11]

Účinnost určíme jako podíl

$$\eta = \frac{U_{MPP} \cdot I_{MPP}}{P_{IN}}, \quad (2.3)$$

kde ve jmenovateli je maximálního výstupní výkon a v čitateli je výkon dopadajícího záření. Účinnost je ovlivněna sériovým odporem R_s spojů článků a vedení a paralelním odporem R_p , který je vníká defekty v krystalické mřížce a svodovými proudy v okrajích článků. Velký vliv na účinnost solárního článku má také jeho teplota. S rostoucí teplotou nad 25 °C dochází k snížení účinnosti a maximálního výkonu vlivem zvýšení difuzní hodnoty minoritních nosičů náboje a zmenšení energetické mezery polovodiče. [11]



Obrázek 2.2 Vliv teploty na VA charakteristiku fotovoltaického modulu [3]

Měření voltampérové charakteristiky musí probíhat za standardních testovacích podmínek stanovených normou ČSN EN IEC 60904.

2.1.1 Standardní testovací podmínky – STC

Pro měření a testování fotovoltaických článků a modulů jsou vydány mezinárodní elektrotechnickou komisí IEC příslušné normy, které zavazují k dodržení testovacích podmínek. Mezi hlavní testovací podmínky patří teplota solárního článku (teplota v místnosti), která má být 25 °C a je odvozena od nejvyšší účinnosti křemíkových solárních článků právě při této teplotě a kalibrační teplotě daného zařízení, dále intenzita slunečního záření 1000 W/m² a koeficientu atmosférické masy AM= 1,5, jenž definuje vlastnosti spektra světla u hladiny moře, které světlo získá po projití zemskou atmosférou k hladině moře ku dráze světla, které by dopadlo kolmo na hladinu. Shrnutí testovacích podmínek fotovoltaických technologií najdeme v normě ČSN EN IEC 60904.[12]

2.1.2 Nominální provozní podmínky – NOCT

NOCT (Nominal operating cell temperature) definuje podmínky pro testování fotovoltaických panelů, které se blíží reálným podmínkám. Intenzita osvětlení je snížena na 800 W/m^2 oproti testování při STC. Dále je zde definovaná teplota okolí $20 \text{ }^\circ\text{C}$ a proudění vzduchu s rychlostí 1 m/s . Světelné spektrum zůstává stejné jako při STC. Při těchto podmínkách se změří ustálená teplota článku, na kterou se panel při těchto podmínkách oteplil. Zpravidla tato teplota bývá kolem $45 \text{ }^\circ\text{C}$. Za těchto podmínek lze změřit VA charakteristiku, na kterou má největší vliv právě teplota a intenzita osvětlení. Tyto podmínky nejsou stanoveny normou, tudíž se můžou u jednotlivých výrobců lišit. [13]

2.1.3 Kontinuální metoda

Měření voltampérové charakteristiky využívá neustálého konstantního osvětlení solárního panelu, jež splňuje standardní testovací podmínky uvedené v normě ČSN EN IEC 60904. Při této metodě postupně měníme zátěž mezi kontakty fotovoltaického panelu a při každé změně zátěže se zaznamená hodnota proudu a napětí. Postup měření může probíhat například od krajní hodnoty voltampérové charakteristiky od napětí na prázdko po proud na krátko, tak abychom zaznamenali celý průběh. Vzhledem k vysokému dodávanému výkonu je nutné panel ochlazovat, aby nedocházelo k přehřívání, proto se v dnešní době používá zejména metoda Flash. [3]

2.1.4 Metoda FLASH

Flash (záblesková) metoda je jednou z nejmladších metod testování fotovoltaických článků a panelů, která zkoumá jejich voltampérovou charakteristiku. K měření se využívá záblesku s vysokou intenzitou ozáření 1000 W/m^2 , což má za následek, že nedochází k ohřevu panelu. Jako zdroj záření se nejčastěji používají metalhalogenidové výbojky s typickou životností nejméně 10000 záblesků (liší se dle typu a výrobce, každý výrobce uvádí minimální životnost v podobě počtu záblesků).[3]

2.2 Testování s využitím luminiscence

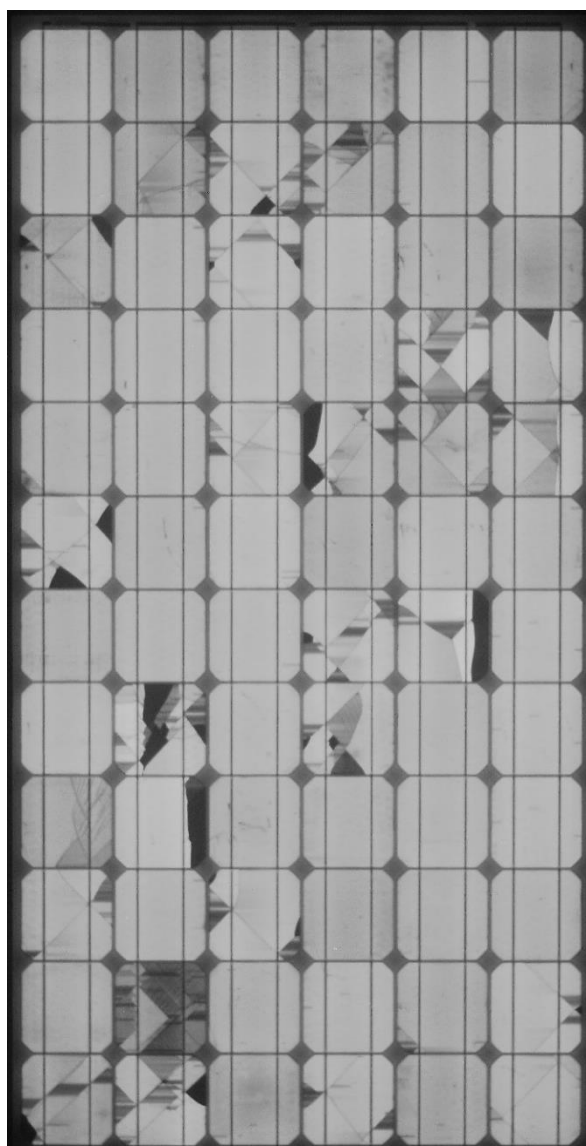
Dodáme-li látce s luminiscenčními vlastnosti energii například světelným zářením, která uvede látku mimo rovnovážný stav, bude se snažit vrátit do rovnovážného stavu tak, že přebytečnou energii vyzáří do svého okolí. Luminiscence nám pomáhá odhalit defekty fotovoltaických panelů vzniklé buď při výrobě panelu nebo jeho pozdějším mechanickým poškozením.[3]

2.2.1 Fotoluminiscence

Tento spontánní jev vzniká při dopadu elektromagnetického záření na luminiscenční látku, kdy vybuzené záření má delší vlnovou délku než dopadající záření.[3]

2.2.2 Elektroluminiscence

Elektroluminiscence vzniká v důsledku přiložení elektrického napětí svorky a následným průchodem proud. Jedná se o jednu z nejrychlejších a nejjednodušších zkušebních metod při odhalování defektů na fotovoltaickém panelu. Pokud se fotovoltaický panel připojí ke zdroji proudu v propustném směru, dochází k nárustu náboje mezi vodivostními pásy, pokud dojde k překročení energetické hladiny, spustí se proces zářivé rekombinace, při které je přebytečná energie vyzařována do okolí v podobě infračerveného záření. Toto záření snímáme nízkou šumovou kamerou CCD, která pořídí fotografii v odstínech šedi, kde tmavá místa znázorňují oblasti, kde neprochází proud, nebo zářivá rekombinace je nedostatečná, což má za následek snížení účinnosti fotovoltaického panelu v tomto místě. Světlá místa znázorňují, že zde dochází k zářivé rekombinaci, jsou tedy v pořádku.[3]



Obrázek 2.3 Snímek elektroluminiscence fotovoltaického panelu

2.3 Druhy ohřevu možné použít pro měření při NOCT

Fotovoltaický panel je potřeba ohřát na požadovanou nominální provozní teplotu článku. Nejčastějším a zároveň nejjednodušším zdrojem energie pro ohřev panelu je elektrická energie, kterou můžeme dodat FV panelu (článku) v různých podobách.

2.3.1 Ohřev pomocí infračerveného záření

Je obecně známo, že jakékoliv elektromagnetické záření dopadající na povrch tělesa způsobuje jeho ohřev, tj. přeměnu energie záření na teplo. Infračervené záření má vlnovou délku od 760 nm po 1 mm. Homogenita ohřevu by v tomto případě byla závislá na homogenitě intenzity dopadajícího záření na plochu panelu, tedy pokud by byl k dispozici jen jeden bodový zdroj infračerveného záření s dostatečným výkonem, bylo by velice obtížné dosáhnout konstantní teploty FV panelu. Průmyslové řešení infraohřevu s více infračervenými zářiči by bylo dostačující, vzhledem k homogenitě ohřevu díky k plynulé regulaci s možností nastavení požadované teploty u moderních infračervených pecí.

2.3.2 Ohřev pomocí proudění teplého vzduchu

Při tomto způsobu dochází k výměně tepla mezi zahříváním tělesem (FV panelem) a teplým vzduchem. Tepelná výměna probíhá až do okamžiku vyrovnání teplot média dodávající teplo (teplý vzduch) a zahříváního tělesa. Výhodou této metody je možnost dosažení vysoké homogenity ohřevu FV panelu, díky možnosti temperování při nastavené teplotě.

2.3.3 Ohřev pomocí Joulova tepla

Ohřev pomocí Joulova funguje na principu předání části energie nosičů elektrického náboje částicím, které se neúčastní přenosu elektrické energie (toku proudu), což má za následek vzniku tepla.

$$Q = U * I * t \quad (2.4)$$

Je tedy nutné mít laboratorní DC zdroj s dostatečným výkonem a výstupním napětím pro využití Joulova tepla k přímému ohřevu fotovoltaických článků FV panelu.

2.3.4 Výhody a nevýhody jednotlivých ohřevů

Tabulka 2.1 Porovná jednotlivých metod ohřevu

	Metoda ohřevu		
	Joulovo teplo	Teplý vzduch	Infrazáření
Prostorové nároky	minimální	vysoké	vysoké
Homogenita ohřevu	dostačující	vysoká	dle konfigurace
Regulace teploty	manuální	automatická	automatická
Rozměry FV panelu	bez omezení	dle zařízení	dle zařízení
Pořizovací cena	minimální	vysoká	vysoká

3. NEJISTOTY MĚŘENÍ

Nejistoty měření nám udávají, v jakém rozsahu hodnot a s jakou pravděpodobností se skutečná hodnota nachází v tomto rozsahu.

3.1 Nejistota typu A

Nejistotu měření typu A zjistíme opakovaným měřením jako rozptyl hodnot s_x opakovaných n měření. Velikostí nejistoty u_a (typu A) je výběrová směrodatná odchylka, která se spočítá pomocí následujících vzorců:

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (3.1)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3.2)$$

$$u_A = k_s * s_{\bar{x}}. \quad (3.1)$$

Počet opakování by měl být v ideálním případě 10 nebo více pro $k_s=1$, pokud je jich méně je koeficient k_s převzat dle tabulky. [15]

Tabulka 3.1 Koeficienty k_s pro výpočet nejistoty u_a [15]

N	9	8	7	6	5	4	3	2
k_s	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,7	2,3	7,0

Nejistotu typu A neurčujeme u jednorázových měření nebo u měření, kde si nejsme jisti, že měřená veličina se nemění. [15]

3.2 Nejistota typu B

Nejistota typu B se určuje z všech možných zdrojů nejistot daného měření, které je možné buď přesně určit (například nejistota měřicího přístroje), nebo alespoň odhadnout z intervalu hodnot, ve kterém se pravděpodobně nacházejí. Pomocí výpočtu absolutní chyby dle třídy přesnosti měřicího přístroje lze určit nejistotu typu B pomocí vzorce. [15]

$$u_{Bz} = \frac{\Delta_z \max}{\chi} \quad (3.4)$$

Tabulka 3.2 Koeficientu χ dle rozložení [15]

Rozložení	X	Pro
Normální	2	Přesné přístroje
Rovnoměrné	$\sqrt{3}$	Základní výstupní kontrola výrobce
Trojúhelníkové	$\sqrt{6}$	Vyspělá technologie výrobce
Bimodální Dirac	1	Hystereze
Lichoběžníkové	2,19	Možnost přesahu
Bimodální trojúhelník	$\sqrt{2}$	Nonia (posuvka)

Výsledná nejistota B se rovná odmocnině ze součtu čtverců dílčích nekorelovaných nejistot. [15]

$$u_B = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{Bz}^2} \quad (3.5)$$

3.3 Nejistota kombinovaná a rozšířená

Výslednou nejistotou je kombinovaná nejistota při normálním rozložení. Kombinovaná nejistota udává interval, kde se nachází skutečná hodnota měřené veličiny s pravděpodobností 68 %. Kombinovaná nejistota se spočítá dle vzorce. [15]

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (3.6)$$

Rozšířenou nejistotu U spočítáme tak, že vynásobíme kombinovanou nejistotu koeficientem k_r , pro dosažení větší pravděpodobnosti, že se skutečná hodnota nachází v rozsahu stanoveném nejistotou, dle vzorce. [15]

$$U_C = u_C * k_r \quad (3.7)$$

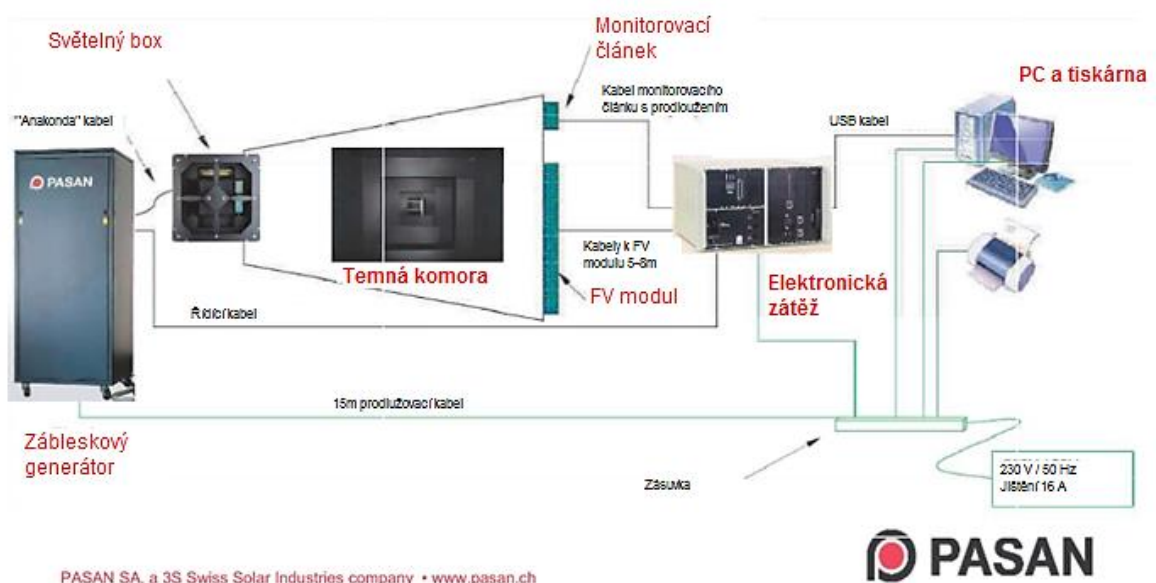
Tabulka 3.3 Koeficientu k_r pro různé pravděpodobnosti [15]

k_r	1	2	2,58	3
Pravděpodobnost	68 %	95 %	99 %	99,7 %

4. MĚŘENÍ VA CHARAKTERISTIKY POMOCÍ PŘÍSTROJE PASAN SUNSIM 3C

Pasan je Švýcarská firma, založena v roce 1983, spadající pod společnost MEYER BURGER, zabývající se vývojem a výrobou technologie pro měření výkonu vysoce účinných solárních článků a modulů. Sluneční simulátory Pasan jsou známé především díky své přesnosti a spolehlivosti, díky čemuž je využívají certifikační instituty jako například TUV, nebo výrobci fotovoltaických panelů a článků. [15]

Sluneční simulátor Pasan SunSim 3c je určen k měření voltampérové charakteristiky fotovoltaických článků a modulů do velikosti 2x2 m v temné komoře pomocí metody FLASH za standardních testovacích podmínek. Zařízení spadá do třídy A+A+A+ dle normy ČSN EN IEC 60904-9, tudíž splňuje podmínky nehomogenity záření menší než 1 %, změna záření v závislosti na čase menší než 1 % a spektrum záření pod 12,5 %. Zařízení se skládá několika částí.[16]



Obrázek 4.1 Zapojení Pasan SunSim 3c [16]

4.1 Části Pasan SunSim 3c

4.1.1 Zábleskový generátor

Zábleskový generátor je napájecí zdroj pro zábleskovou lampu. Obsahuje několik vysokonapěťových kondenzátorů, které akumulují energii potřebnou k záblesku. Součástí je i řídicí elektronika, která zabezpečuje stabilní množství energie dodávané při záblesku. Dále jsou zde elektronické zásuvné karty, které řídí nabíjení a vybíjení kondenzátorů a jsou součástí regulační zpětné vazby. Součástí je také signalizační panel, který zobrazuje aktuální napětí na kondenzátorech, dále LED diody, které indikují stav zábleskového generátoru. Z hlediska bezpečnosti je zde červené světlo, které upozorňuje na vysoké napětí v systému, v případě že je Flash generátor již vypnutý. Propojení se světelným boxem je zajištěno pomocí „anokondového“ kabelu, řídicího kabelu a dále je spojen s elektronickou zátěží pomocí řídicího kabelu.[16]



Obrázek 4.2 Záblesková generátor Pasan SunSim 3c [16]

Tabulka 4.1 Elektronické zásuvné karty zábleskového boxu Pasan SunSim 3c [16]

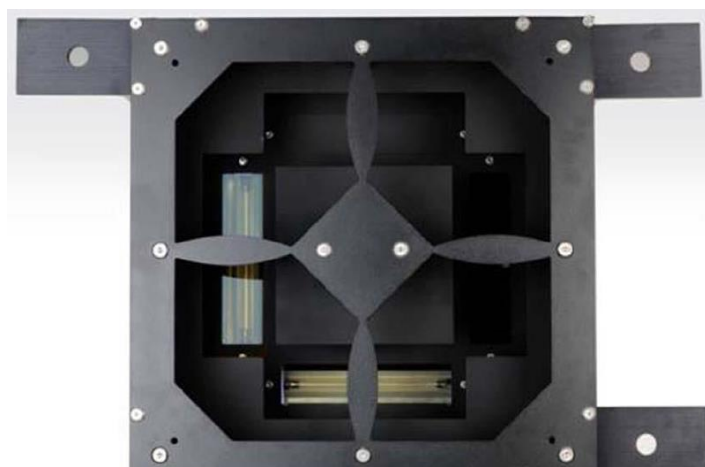
Označení	Funkce
BV 774	Napájecí karta
BV 771	Napájecí karta, ON/OFF vypínač, indikátor napájení
BV 854	Řídící karta výboje a teplotní kontrola
BV 851	Řídící karta nabíjení, zobrazení napětí na kondenzátorech, komunikace s elektronickou zátěží
BV 8581	Řídící karta pro regulaci záblesku



Obrázek 4.3 Elektronické zásuvné karty zábleskového generátoru Pasan SunSim 3c [16]

4.1.2 Světelný box

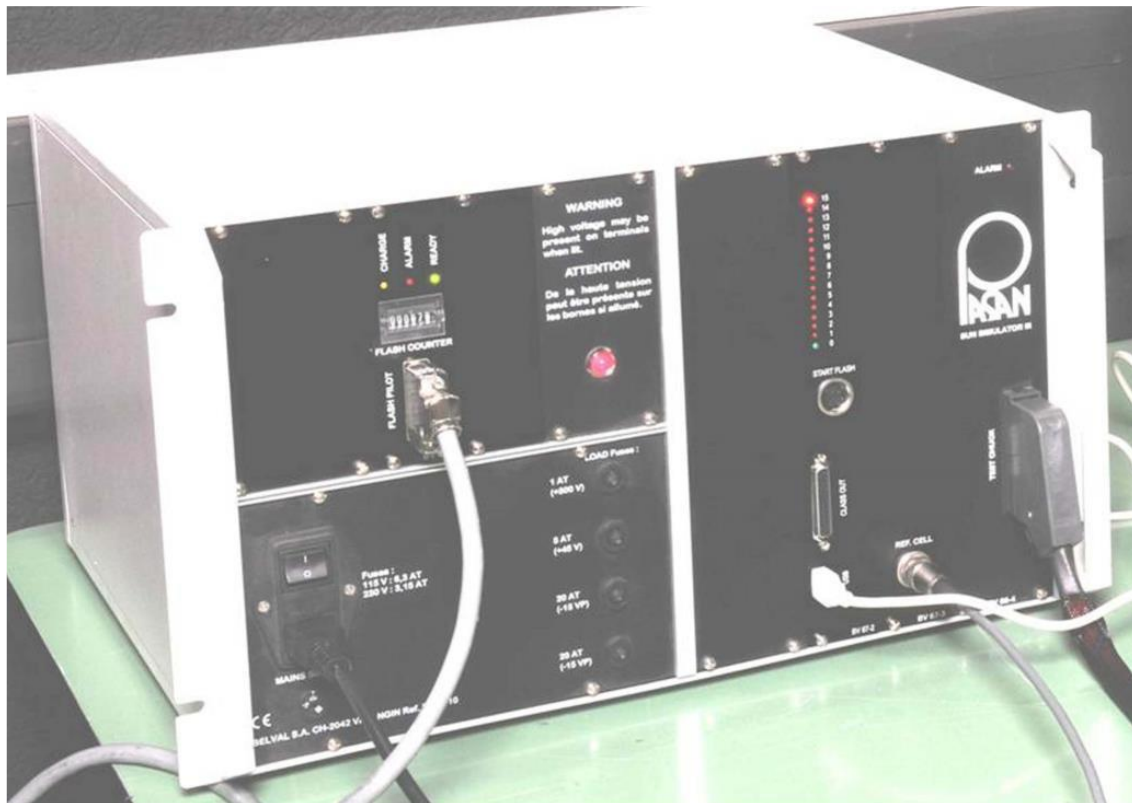
Obsahuje dvě zábleskové trubice, které emitují světlo potřebné pro měření a jsou uloženy v boxu, který dále obsahuje interferenční filtr pro každou trubici, uniformní masku zajišťující rovnoměrné rozložení světla ve zkušebním záření a měřící jednotku intenzity záření. Tento box je obdobný pro sluneční simulátor Pasan SunSim 3b, který je doplněn o dvě zábleskové výbojky. [16]



Obrázek 4.4 Zábleskový box Pasan SunSim 3c [16]

4.1.3 Elektronická zátěž

Obsahuje několik elektronických karet, které obstarávají průběh měření a komunikaci s ostatními periferiemi.



Obrázek 4.5 Elektronická zátěž Pasan SunSim 3c [16]

Tabulka 4.2 Elektronické zásuvné karty elektronické zátěže Pasan SunSim 3c [16]

Označení	Funkce
BV 66-9	Řízení záblesku, regulační zpětná vazba záblesku, počítadlo záblesku a indikátor stavu
BV 67-2	Komunikace s PC pomocí USB rozhraní
BV 67-3	Měření napětí na monitorovacím článku
BV 66-4	Měření proudu generovaného FV panelem, nastavení schodkového napětí z FV panelu

4.1.4 Monitorovací článek

Zaznamenává intenzitu záření ve své poloze, tudíž je vhodné, aby byl umístěn co nejbližší měřenému modulu. Skládá se z FV článku a zkratového odporu 1Ω , na kterém měříme napětí v milivoltech, které je přímo úměrné intenzitě osvětlení. Každý článek má svou charakteristickou citlivost, která se musí určit pomocí měření referenčního panelu. Uváděná hodnota na štítku monitorovacího článku je pouze orientační. [16]



Obrázek 4.6 Monitorovací článek Pasan SunSim 3c [16]

4.1.5 Kabeláž Pasan SunSim 3c

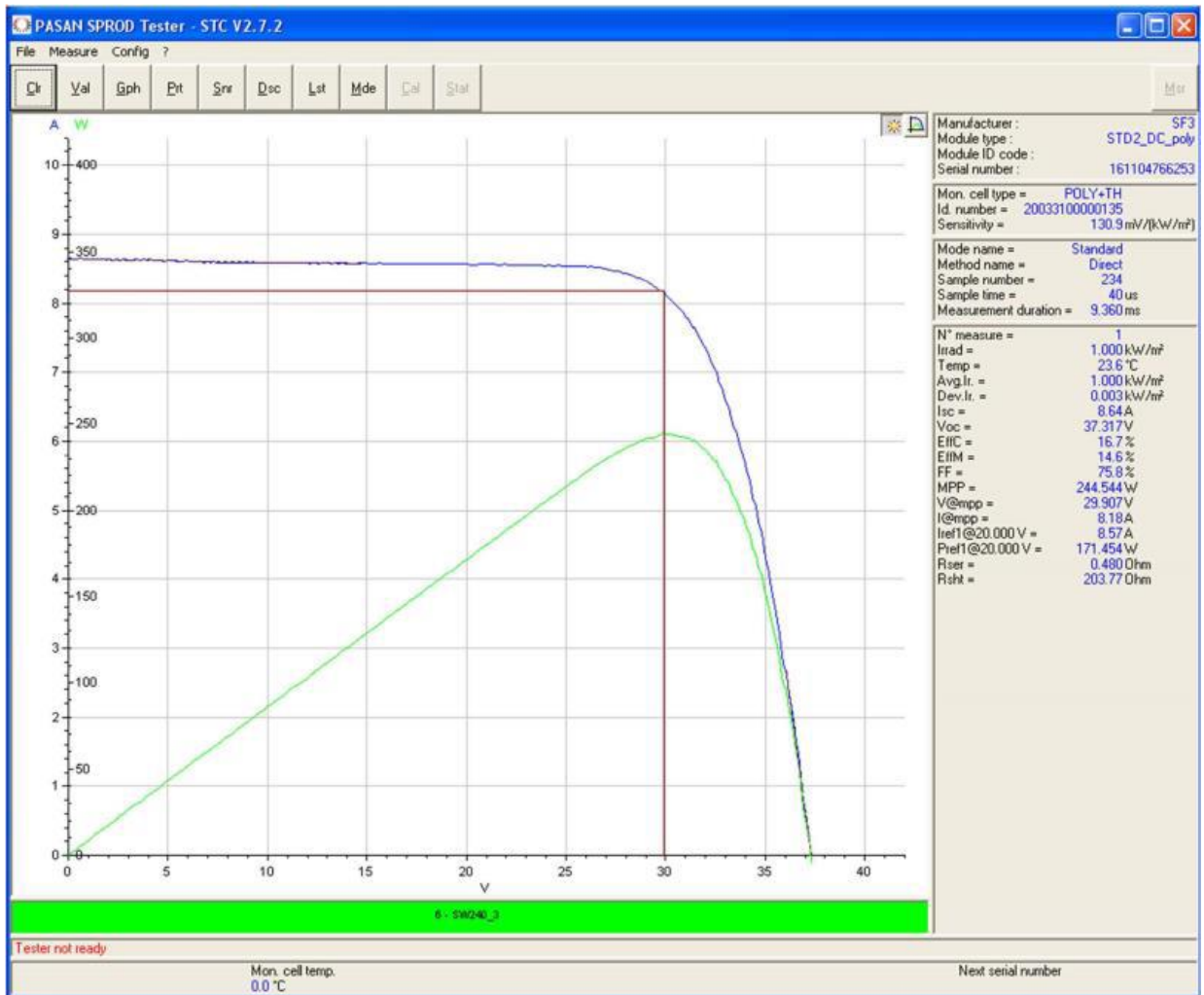
Kromě dodávané kabeláži pro připojení jednotlivých periférií jako je „anakonda“ kabel a řídicí kabely je zapotřebí připojení DUT (device under test – testované zařízení) připojit vhodnou kabeláží k jednotce BV 66-4 elektronické zátěže. Tenké kabely jsou určeny pro měření napětí na panelu a tlusté kabely 6mm^2 pro vedení proudu. Kabely jsou na konci zakončeny konektory pro rychlejší manipulaci. [16]



Obrázek 4.7 "Anakonda" kabel a řídicí kabel [16]

4.1.6 Softwarové vybavení SPROD

Program SPROD slouží pro ovládání měření a zobrazení VA charakteristiky měřeného panelu. Před spuštěním měření je potřebné vyplnit vlastnosti panelu stanovené výrobcem z katalogového listu, případně ze štítku panelu. Po zapnutí ostatních periférií v daném pořadí (nejprve generátor záblesku, poté elektronickou zátěž) a připojení měřeného modulu spustíme program, zkontrolujeme nastavené parametry a spustíme měření tlačítkem „MSR“. [16]



Obrázek 4.8 Rozhraní s vykreslenou VA charakteristikou programu SPROD [16]

4.2 Nejistoty měření slunečního simulátoru Pasan SunSim 3c

Byly stanoveny výpočtem dle dostupných nejistot jednotlivých komponentů slunečního simulátoru a kalibračního článku, viz. příloha J – „Výpočet nejistot“.

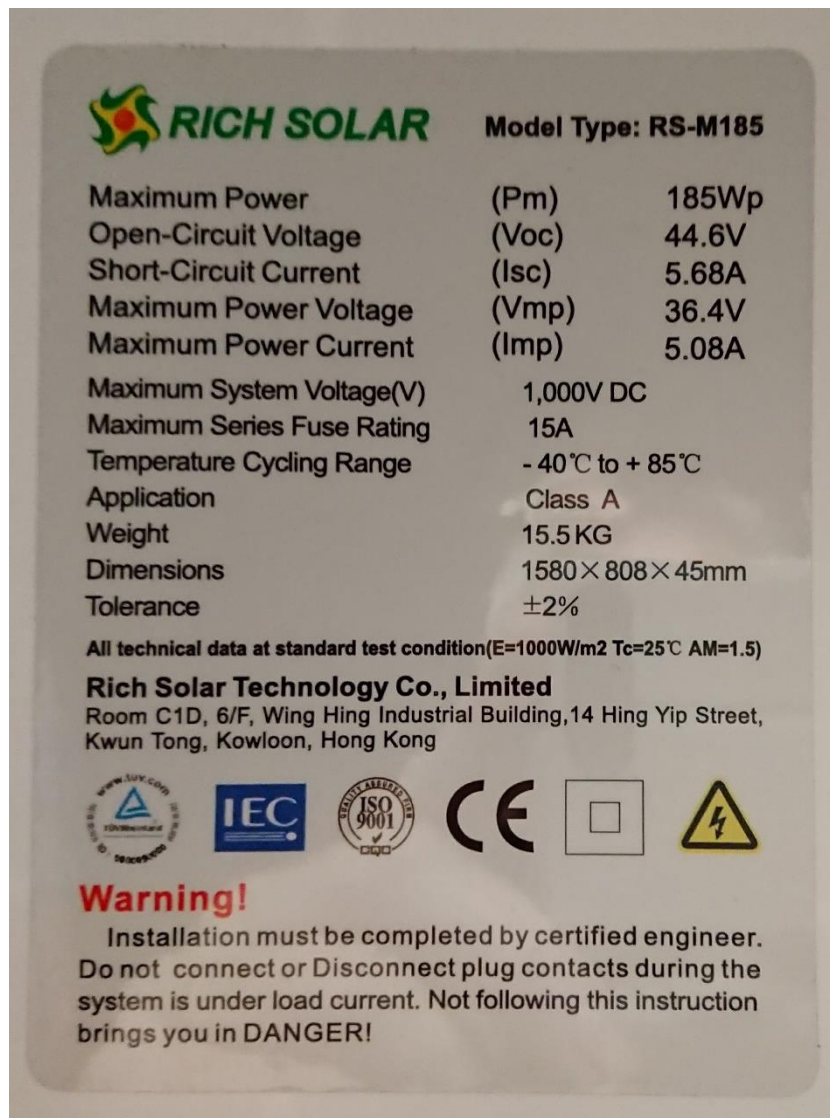
Tabulka 4.3 Nejistoty výstupních hodnot slunečního simulátoru

Veličina	Nejistota
I_{sc}	2,9 %
U_{oc}	1,7 %
Eff	3,5 %
FF	4,2 %
P_{MPP}	3,2 %
U_{MPP}	2,0 %
I_{MPP}	3,1 %

5. VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ

5.1 Parametry analyzovaného fotovoltaického modulu RICH SOLAR RS-M185

V našem případě parametry analyzovaného modulu jsme přebrali z výrobního štítku.



Obrázek 5.1 Výrobní štítek RICH SOLAR RS-M185

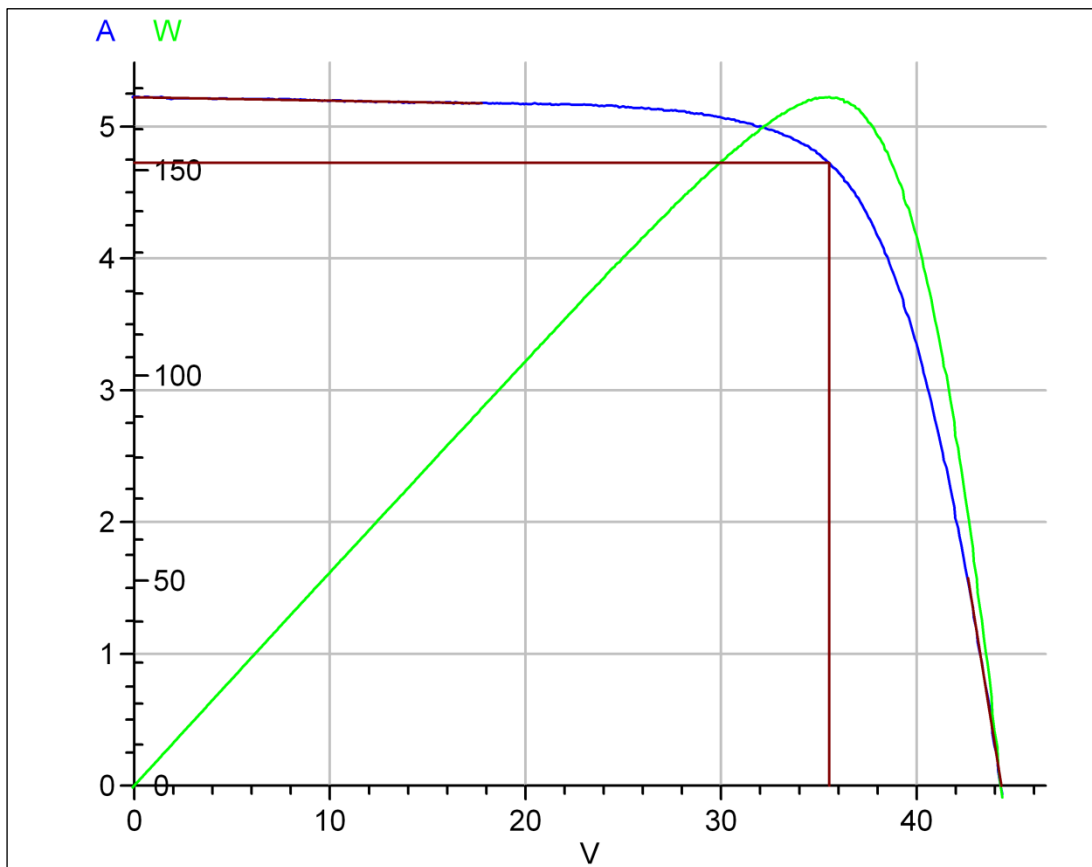
Vidíme na štítku poznámku, že uvedené hodnoty platí při STC (standardní testovací podmínky).

5.2 Naměřená VA charakteristika pomocí slunečního simulátoru

Výstup naměřených hodnot vygenerovaný programem SPROD.

Datum a čas měření: 26-10-21, 11-56
Výrobce: Rich Solar
S/N: 2009111412441
Typ modulu: RS-M185

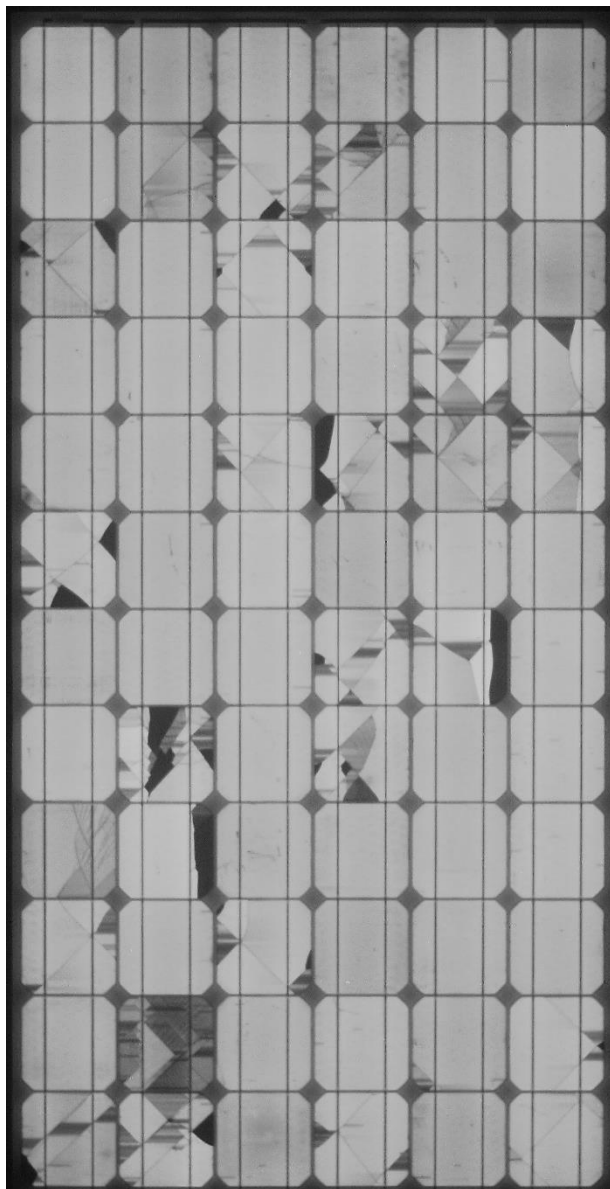
T_p	25.0	°C
$G_{(i)}$	1.0	kW/m ²
I_{sc}	5.224	A
U_{oc}	44.320	V
Eff.	13.15	%
FF	72.51	%
P_{mpp}	167.882	W
U_{mpp}	35.526	V
I_{mpp}	4.726	A
R_{ser}	1.1	Ohm
R_{sh}	383.3	Ohm



Obrázek 5.2 Změřená VA charakteristika modulu RICH SOLAR RS-M185

5.3 Snímek získaný pomocí elektroluminiscence

Měření probíhalo pomocí laboratorního zdroje tak, že jsme nastavili napětí, tak aby fotovoltaickým panelem protékal proud přibližně 4,5 A pro dobrý kontrast světlých a tmavých oblastí, tedy místa, kterými prochází proud, nebo proud prochází částečně nebo vůbec.



Obrázek 5.3 Snímek elektroluminiscenčního záření FV panelu RICH SOLAR RS-M185

5.4 Posouzení stavu FV modulu RICH SOLAR RS-M185

Tabulka 5.1 Porovnání hodnot FV modulu RICH SOLAR RS-M185

Parametr	Naměřená hodnota při STC	Hodnota deklarovaná výrobcem při STC
P_{MPP} [Wp]	167 ± 5	185
U_{OC} [V]	$44,3 \pm 0,8$	44,6
I_{SC} [A]	$5,22 \pm 0,15$	5,68
U_{MP} [V]	$35,5 \pm 0,7$	36,4
I_{MP} [A]	$4,73 \pm 0,15$	5,08
Eff [%]	$13,2 \pm 0,5$	14,5
FF [%]	$72,5 \pm 3$	72,99

Fotovoltaický modul RICH SOLAR RS-M185 i přes své viditelné rozsáhlé mechanické poškození na obrázku Obrázek 5.3 Snímek elektroluminiscenčního záření FV panelu RICH SOLAR RS-M185 (ostré hrany zlomu solárních článků, nejsou zde zřetelně viditelné jiné defekty) vyhovuje poklesu maximálně na 90 % (166,5 W) udávaného výkonu výrobcem při STC během 12 let.

6. MĚŘENÍ VOLTAMPÉROVÉ CHARAKTERISTIKY FOTOVOLTAICKÝCH MODULŮ PŘI NOCT

Voltampérová charakteristika změřená při NOCT by měla více reflektovat výkon fotovoltaického modulu při reálném využití, například u fotovoltaických systémů pro rodinné domy. Podmínky NOCT nejsou pevně stanoveny normou, tudíž se mezi jednotlivými výrobci můžou tyto podmínky lišit.

6.1 Návrh postupu měření

Pro měření voltampérové charakteristiky fotovoltaických článků při jejich nominální provozní teplotě, která je změřená výrobcem, uvedena v datasheetu FV modulu a pohybuje se z pravidla kolem 45 °C, je potřeba fotovoltaické články modulu zahřát přibližně na tuto teplotu. Dále je potřeba upravit nastavení slunečního simulátoru, tak aby intenzita osvětlení byla 800 W/m².

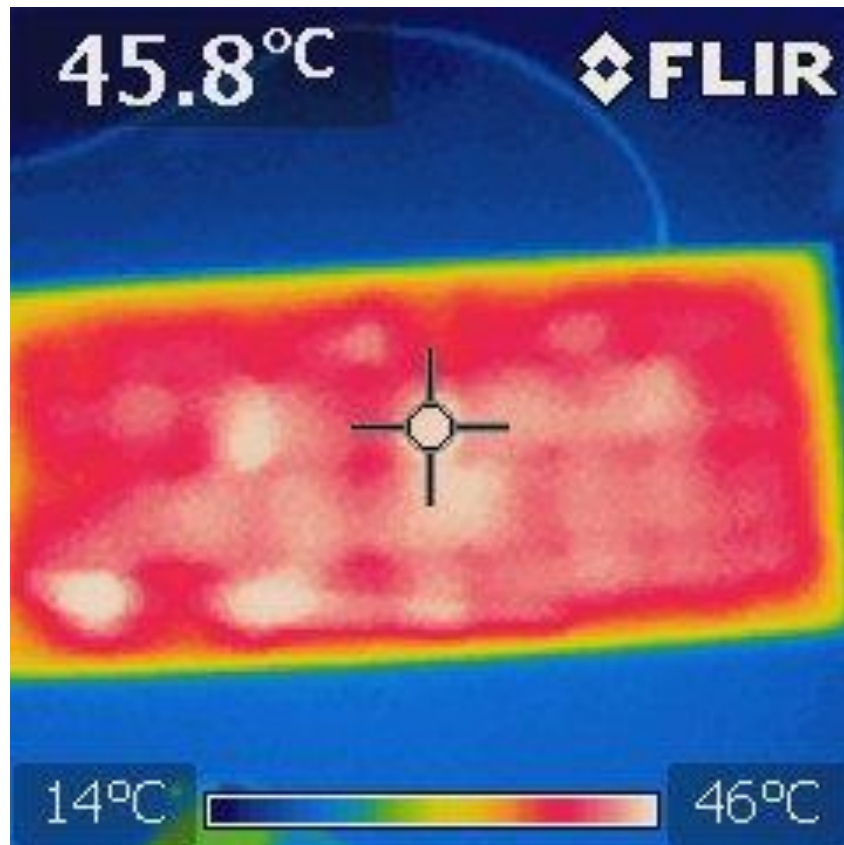
6.1.1 Zahřátí fotovoltaických článků modulu na teplotu NOCT

Mezi teoretické možnosti, jak zahřát fotovoltaické články, byl zařazen infračervený ohřev, teplý vzduch a Jouleovo teplo, tedy připojení analyzovaného FV modulu k DC zdroji v propustném směru. Po zvážení různých aspektů z nich nejdůležitější byly kladeny na homogenitu ohřevu a jednoduchost provedení. Po zvážení možností byl zvolen pro první testovací ohřev pomocí Jouleova tepla, který se jevil jako nejjednodušší a zároveň snadno realizovatelný z dostupných zdrojů (k ohřevu je zapotřebí pouze DC zdroj s dostatečným výkonem a rozsahem výstupních napětí).

Zkušební zahřátí proběhlo na panelu Solartech 55 Wp. Zjištěné výsledky byly shnuty do tabulky 6.1.

Tabulka 6.1 Odečtené hodnoty teplot plochy panelu Solartech 55 Wp dle obrázku 6.2

Průměrná teplota panelu [°C]	43,6
Minimální teplota panelu [°C]	39,3
Maximální teplota panelu [°C]	46,7
Směrodatná odchylka teploty panelu [°C]	0,9



Obrázek 6.1 Snímek termokamerou zahřátého panelu Solartech 55 Wp na průměrnou teplotu 44 °C

6.1.2 Přizpůsobení slunečního simulátoru

Pro dosažení intenzity osvětlení 800 W/m^2 je potřeba do zábleskového boxu slunečního simulátoru Pasan vložit filtr s označením 700 W/m^2 , který umožňuje nastavit intenzitu osvětlení na 800 W/m^2 v softwarovém prostředí SPROD slunečního simulátoru.

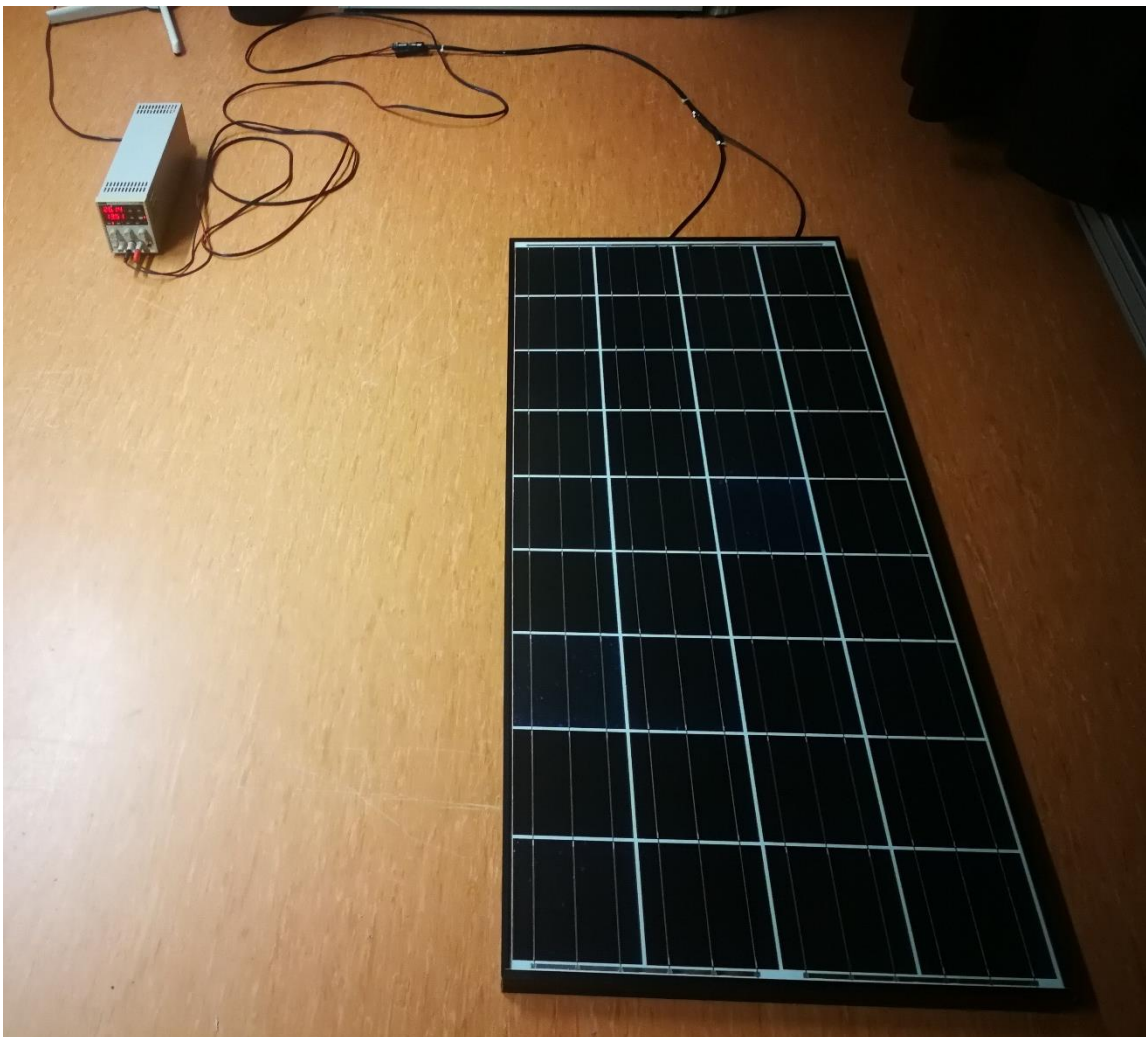


Obrázek 6.2 Filtr slunečního simulátoru s označením 700 W/m^2

6.2 Postup měření a ověření metodiky měření

6.2.1 Měření při NOTC

Nejprve je nutné vše nachystat k slunečnímu simulátoru, tak aby byla možná manipulace s FV modulem vzhledem k tomu, že je nutné modul zahřívát na vodorovné ploše kvůli rovnoměrnému ohřevu (při ohřevu FV modulu vloženého do slunečního simulátoru dochází k hromadění tepla v horní části panelu – tj. k nerovnoměrnému ohřívání). Poté je nutné zajistit potřebnou kabeláž pro kompatibilitu připojení, jednak k slunečnímu simulátoru a jednak k připojení DC zdroje pro ohřev.



Obrázek 6.3 FV panel Kyocera KD140GH-2PU připojený k DC zdroji LXI CPX400SP

Nastavení termokamery Flir i7 je nastaveno dle měřeného povrchu z přednastavených materiálů na polykarbonát, který tvoří většinu povrchů přední strany FV panelů, s emisivitou přednastavenou 0,8.

Důležitá je taky konfigurace slunečního simulátoru. Je potřeba správně vložit filtr 700 W/m² a následně nastavit intenzitu osvětlení na 800 W/m² – automaticky dojde ke zvýšení výkonu lampy přibližně na 1100 W/m². V programu SPROD je zapotřebí dále nastavit, aby neprováděl korekci vlivem teploty v místnosti, která se liší od požadované teploty pro měření. Korekci je zamezeno tak, že v programovém prostředí SPROD koeficienty alfa a beta (koeficienty pro přepočítání proudu a napětí vlivem teploty) nastavíme na 0. Vhodné je si uložit tento profil panelu jako kopii například s příponou _NOCT pro jednodušší užití (odpadá nutnost upravovat profil panelu při opakovaném měření STC nebo NOCT).

Tabulka 6.2 Nastavení profilů v prostředí SPROD FV modulů pro jednotlivá měření

Označení v SPROD	Označení na obrázku	Měření při NOCT	Měření pro přepočítání na NOCT	Měření při STC
Standard temperature [°C]	1	45	45	25
Reference irradiance [kW/m ²]	2	0,8	0,8	1
Alpha [μA/cm ² *°C]	3	0	*	*
Beta [mV/°C]	4	0	*	*

* - hodnoty získané přepočtem parametrů z datasheetu FV panelu (teplotní koeficienty)

Parameter	Value
Manufacturer	SUNergy
Module type	SUN 450-72M-A6
Module ID code	SUN21033520733
Area (one cell)	cm ² 137.8
Nb. serie cells	72
Nb. parallel cells	2
Area (module)	cm ² 22091.8
Absolute max. voltage (module)	V 55.000
Absolute max. current (module)	A 13.000
Start scanning voltage	V -1.700
Trigger delay	ms 0.800
First voltage for Shunt res	V 0.000
Second voltage for Shunt res	V 0.000
Max. current for Shunt res	A 0.000
Temp. coeff. for Shunt res	Ohm/°C 0.0
Standard temperature	°C 1 45.0
Reference irradiance	kW/m ² 2 0.800
Predefined series resistance	Ohm -1.000
Ref. voltage 1	V 0.000
Ref. voltage 2	V 0.000
Alpha	μA/(cm ² *°C) 3 20.61
Beta	mV/°C 4 -2.01
Kappa	mOhm/°C 0.00
Reference panel	None
Voltage calibration factor	% 100.00
Current calibration factor	% 100.00
Power calibration factor	% 100.00
Serial number mode (0-2)	None
Visa	

Obrázek 6.4 Nastavení profilu panelu v programovém prostředí SPROD

Mask type	Transmission [-]	In irradiance regulation loop	Created	Modified	Visa
100W	0.105	Yes	20-09-12	20-09-12	OSC
200W	0.207	Yes	20-09-12	20-09-12	OSC
400W	0.412	Yes	20-09-12	20-09-12	OSC
700W	0.725	Yes	20-09-12	20-09-12	OSC
1000W	1.000	No	20-09-12	20-09-12	OSC

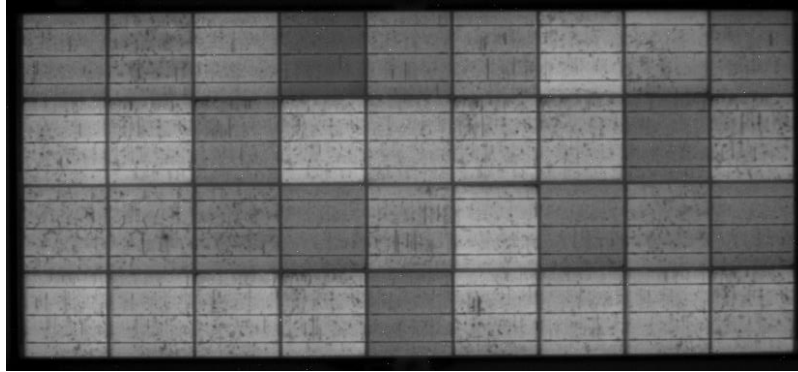
Obrázek 6.5 Nastavení filtru 700 W/m² v programovém prostředí SPROD

Po dokončení přípravy je modul připojen k DC zdroji v propustném směru. Na zdroji je nastaveno proudové omezení na hodnotu I_{MPP} . Následně je zapnut výstup zdroje a je zvyšováno napětí do doby, než panelem začne proudit proud blízký hodnotě I_{MPP} . Pro rychlejší ohřev můžeme nastavit proud FV panelem přibližně na $1,8 \times I_{MPP}$, ale vždy hodnota proudu musí být menší než hodnota jistícího prvku z pravidla pojistky udávaná výrobcem nebo hodnotu reverzního proudu. Pokud není uveden ani jeden z těchto parametrů neměla by překročit hodnota proudu panelem $2 \times I_{SC}$. Dále je v dostatečných intervalech je měřena teplota FV modulu pomocí termokamery, případně kontrola homogenity teploty v ploše panelu. Po dosažení požadované teploty (ve většině případů přibližně 45 °C) a kontrole rozložení teplot pomocí termokamery FV modul přepojen k slunečnímu simulátoru Pasan a vložen do něj, poté je provedeno měření. Tento proces musí být rychlý, aby nedošlo k ochlazení fotovoltaických článků v modulu. Pokud teplota modulu je příliš vysoká nebo homogenita teploty není dostatečná, panel je potřeba mírně ochladit tak, že je vypnut výstup zdroje, a poté znovu zapnut pro zahřátí na požadovanou teplotu. Lepší homogenitu je možné také dosáhnout snížením vstupního proudu do modulu, tak aby již docházelo pouze k udržování požadované teploty.

Pokud není možné dosáhnout požadované teploty nebo je potřeba urychlit ohřev je vhodné panel přikrýt například tenkou tabulí polystyrénu, případně lepenkou, tak aby bylo zabráněno proudění vzduchu.

6.2.2 Ověření metody

Pro ověření metody je zapotřebí provést měření při různých konfiguracích slunečního simulátoru a teploty FV modulu (viz. Tabulka 6.2). Jednotlivá měření byla provedena postupně, nejdříve bylo měřeno pro získání parametrů panelů při podmínkách STC a NOCT stanovených přepočtem. Pro ověření metody byly vybrány dva polykrytalické moduly starší Kyocera KD140GH-2PU, který nejevil žádné poškození (viz. Obrázek 6.8) a zánovní Sunergy SUN 72M-H6 450Wp.



Obrázek 6.6 Snímek elektroluminiscence Kyocera KD140GH-2PU

Z naměřených hodnot při STC byly orientačně vypočítány očekávané hodnoty pro měření NOCT dle teplotních koeficientů uvedených v katalogovém listě panelů Sunergy a Kyocera. Změnu intenzity osvětlení u výpočtu U_{OC} byla zanedbána, vzhledem k tomu, že tato závislost je silně nelineární a téměř se při poklesu osvětlení z 1000 W/m^2 na 800 W/m^2 nemění. Rozdíl teploty článků při měření STC a NOCT je $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$U_{OCnoct} = (1 + k_{T U_{OC}} * \Delta_T) * U_{OCstc} \quad (6.1)$$

I_{SC} a P_{MPP} lze vypočítat vzhledem k jejich přibližně lineární závislosti na intenzitě osvětlení dle následujících vztahů.

$$I_{SCnoct} = (1 + k_{T I_{SC}} * \Delta_T) * I_{SCstc} * \frac{E_{NOCT}}{E_{STC}} \quad (6.2)$$

$$P_{MPPnoct} = (1 + k_{T P_{MPP}} * \Delta_T) * P_{MPPstc} * \frac{E_{NOCT}}{E_{STC}} \quad (6.3)$$

Tabulka 6.3 Přibližné očekávané hodnoty stanovené výpočtem

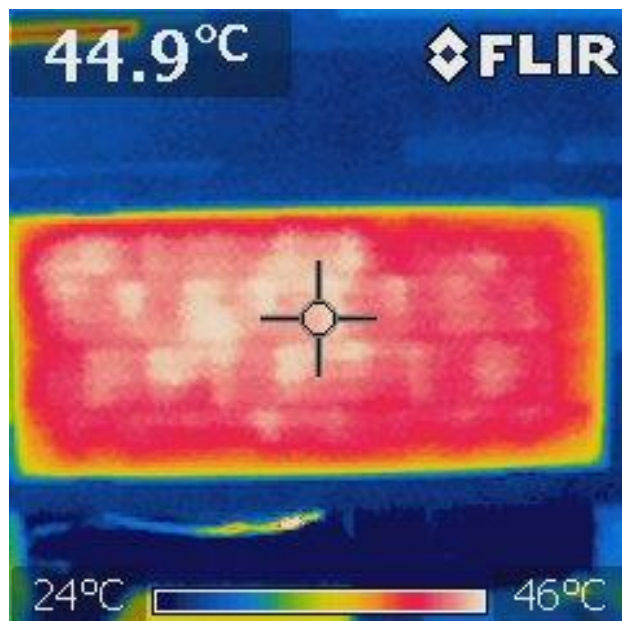
	Kyocera KD140GH-2PU			Sunergy SUN 72M-H6 450Wp		
	STC	k_T [%/K]	NOCT	STC	k_T [%/K]	NOCT
I_{SC} [A]	8,44	0,06	6,8	11,08	0,05	8,95
U_{OC} [V]	22,1	-0,36	20,5	49,0	-0,29	46,2
P_{MPP} [W]	136	-0,46	99	428	-0,36	318

Tabulka 6.4 Naměřené hodnoty pro ověření metody na FV modulu Kyocera

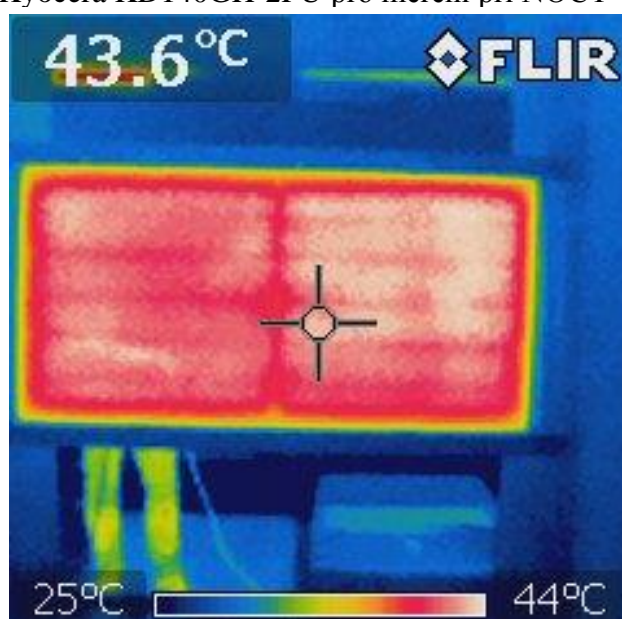
Kyocera KD140GH-2PU	Měření			Datasheet	
Podmínky	STC	NOCT přepočet	NOCT	STC	NOCT
Intezita osvětlení [W/m ²]	1000	800	800	1000	800
Teplota panelu [°C]	24	24	45	25	45
Teplota okolí [°C]	24	24	24	25	-
Teplota pro přepočet [°C]	25	45	-	-	-
I_{SC} [A]	8,44	6,83	6,80	8,68	7,03
U_{OC} [V]	22,1	20,3	20,8	22,1	20,2
Eff [%]	13,6	12,6	12,8	13,9	-
FF [%]	73	73	73	-	-
P_{MPP} [W]	136	101	103	140	101
U_{MPP} [V]	17,3	16,0	16,3	17,7	16
I_{MPP} [A]	7,86	6,32	6,30	7,91	6,33

Tabulka 6.5 Naměřené hodnoty pro ověření metody na FV modulu Sunergy

Sunergy SUN 72M-H6 450Wp	Měření			Datasheet	
Podmínky	STC	NOCT přepočet	NOCT	STC	NOCT
Intezita osvětlení [W/m ²]	1000	800	800	1000	800
Teplota panelu [°C]	24	24	43	25	45
Teplota okolí [°C]	24	24	24	25	-
Teplota pro přepočet [°C]	25	45	-	-	-
I_{SC} [A]	11,08	8,97	8,91	11,36	9,18
U_{OC} [V]	49,0	45,6	46,7	50	46,6
Eff [%]	19,4	18,3	18,4	20,37	-
FF [%]	79	79	78	-	-
P_{MPP} [W]	428	323	325	450	338,3
U_{MPP} [V]	40,8	37,9	38,6	41,4	38,9
I_{MPP} [A]	10,49	8,52	8,43	10,87	8,7



Obrázek 6.7 Snímek termokamerou FV modulu Kyocera KD140GH-2PU pro měření při NOCT



Obrázek 6.8 Snímek termokamerou FV modulu Sunergy SUN 72M-H6 450Wp pro měření při NOCT

Porovnáním naměřených výsledků u obou FV modulů pro měření při STC s údaji v datasheetu jsou dle očekávání shodné. Pro měření při NOCT je klíčová zvýšená teplota fotovoltaických článků, která má vliv na nižší výkon při osvětlení 800 W/m^2 . Porovnáním výsledků naměřených při teplotě článků $45 \text{ }^\circ\text{C}$ a výsledku dosažených pomocí přepočtu (tj. články mají teplotu $24 \text{ }^\circ\text{C}$, ale program dle zadaných koeficientů vypočítá parametry pro požadovanou teplotu – NOCT přepočet) vyšly shodné v rámci nejistoty měření) a korespondují s hodnotami uvedenými v datasheetu obou panelů.

7. STANOVENÍ NEJISTOTY METODY MĚŘENÍ PRO PODMÍNKY NOCT

7.1 Stanovení nejistoty měření teploty pomocí termokamery Flir i7

Vzhledem k tomu, že je měřena teplota celé plochy fotovoltaického panelu je vhodné zahrnout mezi nejistoty měření nejen nejistotu měření termokamery, ale také nejistotu vzhledem k nerovnoměrnému ohřevu plochy. Výsledná nejistota vychází tedy z nejistoty typu B, vzhledem k tomu že panel není možné opakovaně zahřát na stejnou teplotu, tak aby bylo možné stanovit nejistotu typu A.



Obrázek 7.1 Termokamera Flir i7

7.1.1 Stanovení nejistoty termokamery Flir i7

Přesnost udávaná výrobcem dle uvedených parametrů je $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, což je pro měření dostačující. Potom lze vypočítat dílčí nejistotu měření teploty u_{Bi7} dle rovnice 3.4, do které je dosazena přesnost termokamery Flir i7 a koeficient $\chi = \sqrt{3}$ pro rovnoměrné rozložení.

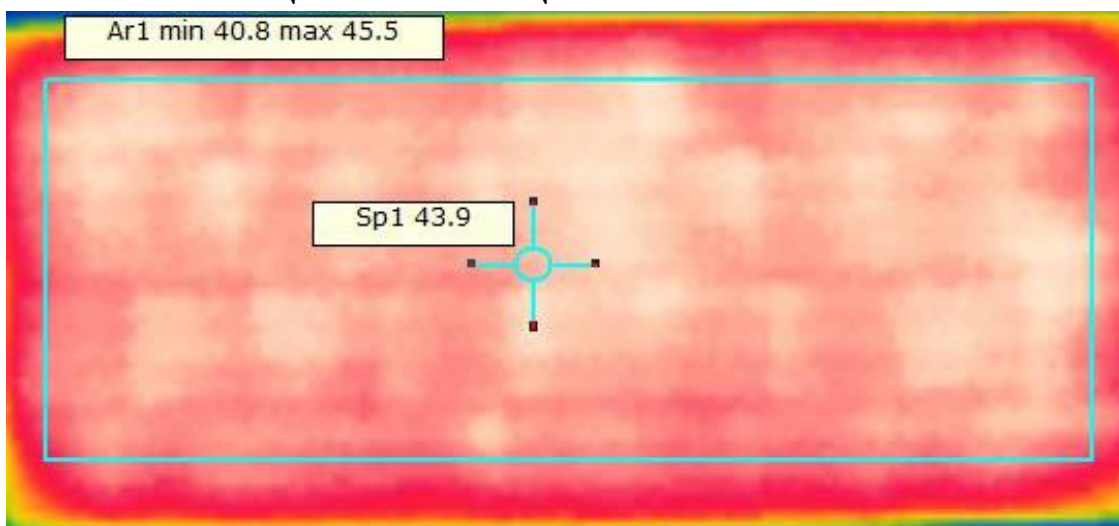
$$u_{Bi7} = \frac{\Delta T_{max}}{\chi} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

7.1.2 Stanovení nejistoty teploty vzhledem k nerovnoměrnému ohřevu plochy

Nejistota nerovnoměrného ohřevu plochy je určena jako směrodatnou odchylku od průměrné teploty panelu, tedy jak se průměrně liší jednotlivé body převedené na teplotu nasnímané termokamerou. Libovolný snímek (vzhledem, že nerovnoměrnost ohřevu je velice podobná u různých FV panelů) z termokamery připraveného FV modulu pro měření při NOCT otevřeme v programu Flir QuickReport. Dále je vybrána oblast panelu bez okrajů (zkreslení teploty vlivem hliníkového rámu panelu), která je převedena na matici teplot do MS Excel pro další zpracování dat. Z těchto hodnot poté vypočtena pomocí funkce SMDCH.P v MS Excel směrodatná odchylka od průměrné teploty panelu, která je zjištěná pomocí funkce PRŮMĚR.

Funkce SMDCH.P v programu excel vypočítá směrodatnou odchylku teploty (nejistotu) dle vzorce.

$$u_{BS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{5236} (T_i - 43,9)^2}{5236}} = 0,55 \text{ } ^\circ\text{C}$$



Obrázek 7.2 FV modul Kyocera KD140GH-2PU pro měření při NOCT v programu Flir QuickReport

7.1.3 Stanovení výsledné nejistoty měření teploty termokamerou Flir i7

Výsledná nejistota měření teploty je dána nejistotami u_{Bi7} a u_{BS} .

$$U_T = u_C = \sqrt{u_{Bi7}^2 + u_{BS}^2} = \sqrt{1,2^2 + 0,55^2} = \pm 1,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tuto nejistotu teploty s konkrétní hodnotou lze přepočítat na nejistotu teploty vyjádřenou v procentech vzhledem k průměrné teplotě panelu.

$$U_{T\%} = \frac{U_t}{\bar{T}} * 100 = \frac{1,3}{43,9} * 100 = 3 \%$$

7.2 Stanovení nejistoty měření slunečního simulátoru při měření parametrů při podmínkách NOCT

Stanovení nejistoty slunečního simulátoru Pasan SunSim 3c při podmínkách NOCT se liší od stanovených nejistot v příloze „Výpočet nejistot“ souboru S 5.4.6 v roce 2013 (pozn. naleznete v příloze J) tím, že je nejistota měření teploty dána měřením teploty termokamerou a rozložením teploty v ploše, do výpočtu místo nejistoty měření teploty teplotního snímače integrovaného v měřicím ústrojí dosadit zjištěnou nejistotu teploty FV panelu. Popis jednotlivých vztahů, nejistot a proměnných je uveden v příloze F.

7.2.1 Nejistota zkratového proudu U_{Isc}

Nejistota měření proudu slunečního simulátoru je stanovena následujícím vztahem.

$$U_{Im} = 2 \sqrt{\left(\frac{U_{MISCO}}{2}\right)^2 + \left(\frac{U_{MI}}{2}\right)^2 + 2\left(\frac{U_{t\%}}{2}\right)^2 + \left(\frac{U_{MA}}{2}\right)^2 + 3\left(\frac{U_{MDMM}}{2\sqrt{3}}\right)^2 + 4\left(\frac{U_{MISCR}}{2}\right)^2}$$

Do tohoto vztahu dosadíme všechny dílčí nejistoty včetně nejistoty měření teploty panelu termokamerou Flir i7.

$$U_{Im} = 2 \sqrt{\frac{0,03^2}{4} + \frac{0,12^2}{4} + \frac{3^2}{2} + \frac{0,63^2}{4} + \frac{0,18^2}{4} + 1,3^2} = 5,02 \%$$

Výslednou nejistotu proudu nakratko určíme dle následujícího vztahu.

$$U_{Isc} = 2 \sqrt{\left(\frac{U_{MISCR}}{2}\right)^2 + \left(\frac{U_{Im}}{2}\right)^2} = 2 \sqrt{\left(\frac{1,3}{2}\right)^2 + \left(\frac{5,02}{2}\right)^2} = 5,19 \%$$

Další nejistoty jsou stanoveny obdobným způsobem.

7.2.2 Nejistota napětí na prázdko U_{Uoc}

$$U_{Um} = 2 \sqrt{\left(\frac{U_{MV}}{2}\right)^2 + 2\left(\frac{U_{t\%}}{2}\right)^2 + \left(\frac{U_{MI}}{2\sqrt{3}}\right)^2} = 2 \sqrt{\frac{0,03^2}{4} + \frac{3^2}{2} + \frac{2,68^2}{12}} = 4,52 \%$$

$$U_{Uoc} = 2 \sqrt{\left(\frac{U_{MUOCR}}{2}\right)^2 + \left(\frac{U_{Vm}}{2}\right)^2} = 2 \sqrt{\left(\frac{0,7}{2}\right)^2 + \left(\frac{4,52}{2}\right)^2} = 4,57 \%$$

7.2.3 Nejistota výkonu v bodě maximálního výkonu U_{Pmpp}

$$U_{Pmpp} = 2 \sqrt{\left(\frac{U_{MMPPR}}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{U_{Im}}{2}\right)^2 + \left(\frac{U_{Vm}}{2}\right)^2} = 2 \sqrt{\left(\frac{1,8}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{5,02}{2}\right)^2 + \left(\frac{4,52}{2}\right)^2}$$

$$U_{Pmpp} = 6,84 \%$$

7.2.4 Nejistota napětí v bodě maximálního výkonu U_{Umpp}

$$U_{Umpp} = 2\sqrt{\left(\frac{U_{MUppMR}}{2}\right)^2 + \left(\frac{U_{Um}}{2}\right)^2} = 2\sqrt{\left(\frac{1,2}{2}\right)^2 + \left(\frac{4,52}{2}\right)^2} = 4,67 \%$$

7.2.5 Nejistota proudu v bodě maximálního výkonu U_{Impp}

$$U_{Impp} = 2\sqrt{\left(\frac{U_{MIppMR}}{2}\right)^2 + \left(\frac{U_{Im}}{2}\right)^2} = 2\sqrt{\left(\frac{1,7}{2}\right)^2 + \left(\frac{5,02}{2}\right)^2} = 5,30 \%$$

7.2.6 Nejistota činitele plnění U_{FF}

$$U_{FF} = 2\sqrt{\left(\frac{U_{Pmpp}}{2}\right)^2 + \left(\frac{U_{Isc}}{2}\right)^2 + \left(\frac{U_{Voc}}{2}\right)^2} = 2\sqrt{\left(\frac{6,84}{2}\right)^2 + \left(\frac{5,02}{2}\right)^2 + \left(\frac{4,52}{2}\right)^2}$$
$$U_{FF} = 9,61 \%$$

7.2.7 Nejistota účinnosti U_{Eff}

$$U_{Eff} = 2\sqrt{\left(\frac{U_{MPP}}{2}\right)^2 + \left(\frac{U_{M-DMM}}{2}\right)^2 + \left(\frac{U_{MA}}{2}\right)^2} = 2\sqrt{\left(\frac{6,84}{2}\right)^2 + \left(\frac{0,18}{2}\right)^2 + \left(\frac{0,63}{2}\right)^2}$$
$$U_{Eff} = 6,87 \%$$

7.2.8 Souhrn nejistot pro navrženou metodiku měření FV panelů při NOCT

Tabulka 7.1 Nejistoty měření pro navrženou metodu měření

Veličina	Nejistota
I _{sc}	5,2 %
U _{oc}	4,5 %
Eff	6,9 %
FF	9,6 %
P _{MPP}	6,8 %
U _{MPP}	4,7 %
I _{MPP}	5,3 %

7.3 Výsledky provedených měření

Tabulka 7.2 Výsledky měření FV modulu Sunergy včetně nejistot

	Sunergy SUN 72M-H6 450Wp			
	Měření		Datasheet	
Podmínky	STC	NOCT	STC	NOCT
I _{SC} [A]	11,08 ± 0,32	8,91 ± 0,46	11,36	9,18
U _{OC} [V]	49,0 ± 0,8	46,7 ± 2,1	50	46,6
Eff [%]	19,4 ± 0,7	18,4 ± 1,3	20,37	-
FF [%]	79 ± 3	78 ± 7	-	-
P _{MPP} [W]	428 ± 14	325 ± 22	450	338,3
U _{MPP} [V]	40,8 ± 0,8	38,6 ± 1,8	41,4	38,9
I _{MPP} [A]	10,49 ± 0,32	8,43 ± 0,45	10,87	8,7

Testovaný fotovoltaický panel výrobce Sunergy s označením SUN 72M-H6 450 Wp nedosahuje hodnot uvedených v datasheetu výrobcem, což mohlo být způsobeno například špatným označením výkonu – pro označení SUN 72M-H6 435 Wp by měl panel po uvážení nejistot měření vyhovující parametry.

Tabulka 7.3 Výsledky měření FV modulu Kyocera včetně nejistot

	Kyocera KD140GH-2PU			
	Měření		Datasheet	
Podmínky	STC	NOCT	STC	NOCT
I _{SC} [A]	8,44 ± 0,25	6,8 ± 0,35	8,68	7,03
U _{OC} [V]	22,1 ± 0,4	20,8 ± 0,9	22,1	20,2
Eff [%]	13,6 ± 0,5	12,8 ± 0,9	13,9	-
FF [%]	73 ± 3	73 ± 7	-	-
P _{MPP} [W]	136 ± 4	103 ± 7	140	101
U _{MPP} [V]	17,3 ± 0,3	16,3 ± 0,8	17,7	16
I _{MPP} [A]	7,86 ± 0,24	6,3 ± 0,33	7,91	6,33

Modul Kyocera KD140GH-2PU při měření při podmínkách STC a NOCT vyhovuje specifikaci výrobce uvedené v katalogovém listě.

8. ZÁVĚR

Současná metoda měření na slunečním simulátoru Pasan SunSim 3c voltampérových charakteristik fotovoltaických modulů při standardních testovacích podmínkách, tj. intenzitě osvětlení panelu 1000 W/m^2 , teplotě $25 \text{ }^\circ\text{C}$ a dalších, byla upravena tak, aby bylo možné změřit voltampérovou charakteristiku při nominální provozní teplotě článku (modulu), tj. při intenzitě osvětlení 800 W/m^2 a teplotě článků dle teploty uvedené výrobcem, z pravidla kolem $45 \text{ }^\circ\text{C}$.

Pro dosažení nominální provozní teploty článku byl zvolen ohřev pomocí Joulova tepla, tedy průchodem proudu v propustném směru fotovoltaickými články modulu, kdy dochází k přímému ohřevu fotovoltaických článků. Jedním z hlavních faktorů volby této metody byla její jednoduchost a dostupnost. Pro úpravu metody postačuje pouze laboratorní stejnosměrný zdroj s dostatečnými parametry pro daný FV modul. Pro měření teploty byla použita termokamera Flir i7, která sloužila i pro kontrolu homogenity ohřevu.

Snížení intenzity osvětlení pro měření voltampérové charakteristiky bylo dosaženo pomocí vložení flitru s označením 700 W/m^2 a konfigurací profilu daného FV panelu v programovém prostředí SPROD nastavením požadované intenzity osvětlení 800 W/m^2 .

Ověření metody proběhlo pomocí porovnání hodnot naměřených při podmínkách NOCT, hodnot změřených při intenzitě osvětlení 800 W/m^2 přepočtených pomocí teplotních koeficientů na nominální provozní teplotu a údaji v katalogovém listu výrobce. Ověření bylo provedeno na dvou fotovoltaických polykrystalických modulech výrobců Kyocera a Sunergy s udávanými výkony při STC 140 Wp a 450 Wp . Porovnáním naměřených výsledků lze říci, že navržená metoda je funkční.

Při úpravě metody došlo k zvětšení nejistoty měření vlivem měření teploty termokamerou Flir i7 a nerovnoměrnosti ohřevu fotovoltaického panelu v ploše s nejistotou 3%.

Tabulka 8.1 Porovnání nejistot měření při STC a NOCT

Veličina	Nejistota při STC	Nejistota při NOCT
I_{SC}	2,9 %	5,2 %
U_{OC}	1,7 %	4,5 %
Eff	3,5 %	6,9 %
FF	4,2 %	9,6 %
P_{MPP}	3,2 %	6,8 %
U_{MPP}	2,0 %	4,7 %
I_{MPP}	3,1 %	5,3 %

Vhodnou úpravou této metody by bylo navrhnout automatizované měření průměrné teploty panelu a integraci této hodnoty do programu SPROD, tak aby byly možné korekce naměřených hodnot dle teplotních koeficientů, což by mělo za následek zpřesnění měření a zjednodušení měření.

LITERATURA

- [1] PAJUREK, René. Stručná historie fotovoltaiky. Volty.cz [online]. 2021, 4.8.2021 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://www.volty.cz/2021/08/04/strucna-historie-fotovoltaiky/>
- [2] 1,2 W/ 9 V solární článek 115x115x3 mm. Botland [online]. [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://botland.cz/nizkoenergeticke-solarni-panely/3502-12w-9v-solarni-clanek-115x115x3mm-5904422302863.html>
- [3] PAVLÍK, S. Tester fotovoltaických článků a panelů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 43 s. Vedoucí semestrální práce doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.
- [4] Solární energie: Solární (fotovoltaické) články. ČEZ [online]. [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [5] Fotovoltaický panel 330 Wp DAH solar. Permasynergy [online]. [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <http://www.permasynergy.cz/wp-content/uploads/2021/02/fv-panel-330w-dah-solar-hcm60x9-764851-0.png>
- [6] Fotovoltaická elektrárna – pojmy. FVE systémy [online]. [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: https://www.fvesystemy.cz/Terminologie-a5_0.htm
- [7] CINGEL, Š. Recyklace fotovoltaických modulů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 58 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Kristýna Jandová, Ph.D.
- [8] 166 mm monokrystalický solární článek PERC. DS New energy [online]. [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://cz.dnsolar.com/solar-cells/p-type/166mm-monocrystalline-perc-solar-cell.html>
- [9] File:4inch poly solar cell.jpg. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 17 [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:4inch_poly_solar_cell.jpg
- [10] Amorton - amorfní křemíkové solární články. Panasonic [online]. 2020 [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://www.panasonic-electric-works.com/cz/amorton-amorfni-kremikove-solarni-clanky.htm>
- [11] MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 254 s. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [12] ČSN EN IEC 60904. Fotovoltaické součástky. 2021.
- [13] STC and NOCT. TiSoft [online]. [cit. 2021-12-14]. Dostupné z: https://www.tisoft.com/en/support/help/electricaldesign/libraries/pvmodules/stc_and_noct
- [14] ČEJKA, Miroslav. Stručný úvod do problematiky nejistot měření.
- [15] Pasan SA. Meyer Burger [online]. [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://www.meyerburger.com/en/company/locations/pasan>
- [16] Technická příručka Pasan SunSim 3b/3c: Základní operace. 2011.

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně
GaAs	Arsenid galia
CdTe	Telurid kadmia
CIS	Polovodičový materiál z mědi, india a selenu
CIGS	CIS s přídavkem galia
VA	Voltampérová
FV	Fotovoltaický
MPP	Bod VA charakteristiky FV modulu s nejvyšším výkonem
CCD	Označení nízko šumové kamery
STC	Standardní testovací podmínky
NOCT	Nominální provozní teplota článku
S/N	Sériové číslo
DUT	Testované zařízení

Symboly:

U	Napětí	(V)
I	Proud	(A)
Q	Teplo	(J)
T	Čas	(s)
$s_{\bar{x}}$	Směrodatná výběrová odchylka	(-)
\bar{x}	Průměrná hodnota	(-)
n	Počet	(-)
x_i	Hodnota, kde i označuje pořadí z n hodnot	(-)
u_A	Nejistota typu A	(-)
k_s	Koeficient pro výpočet nejistoty typu A	(-)
u_{Bz}	Dílčí nejistota typu B	(-)
ΔZ_{max}	Absolutní chyba	(-)
χ	Koeficient rozložení pro výpočet u_{Bz}	(-)
u_B	Nejistota typu B	(-)
u_C	Celková nejistota	(-)
U_C	Velková rozšířená nejistota	(-)
k_r	Koeficient pro výpočet rozšířené nejistoty	(-)
FF	Činitel plnění	(%)
T_P	Teplota panelu	(°C)

I_{SC}	Zkratový proud FV modulu	(A)
U_{OC}	Napětí na prázdko FV modulu	(V)
I_{MPP}	Proud v bodě MPP VA charakteristiky	(A)
U_{MPP}	Napětí v bodě MPP VA charakteristiky	(V)
P_{IN}	Výkon dodávaný osvětlením FV panelu	(W)
Eff	Efektivita FV panelu	(%)
P_{MPP}	Maximální výkon FV modulu	(W)
$G_{(i)}$	Intenzita osvětlení panelu	(W/m ²)
R_{ser}	Sériový odpor FV modulu	(Ω)
R_{sh}	Paralelní odpor FV modulu	(Ω)
I_{SCnoct}	Zkratový proud při podmínkách NOCT	(A)
U_{OCnoct}	Napětí na prázdko při podmínkách NOCT	(V)
$P_{MPPnoct}$	Maximální výkon při podmínkách NOCT	(W)
I_{SCstc}	Zkratový proud při podmínkách STC	(A)
U_{OCstc}	Napětí na prázdko při podmínkách STC	(V)
P_{MPPstc}	Maximální výkon při podmínkách STC	(W)
ΔT	Rozdíl teploty	(°C)
k_{TIsc}	Teplotní koeficient proudu I_{sc}	(%/K)
k_{TUoc}	Teplotní koeficient napětí U_{oc}	(%/K)
k_{TPmpp}	Teplotní koeficient výkonu P_{MPP}	(%/K)
E_{NOCT}	Intenzita osvětlení při podmínkách NOCT	(W/m ²)
E_{STC}	Intenzita osvětlení při podmínkách STC	(W/m ²)
k_T	Teplotní koeficient	(%/K)
u_{Bi7}	Nejistota měření teploty termokamerou Flir i7	(°C)
ΔT_{max}	Přesnost termokamery Flir i7	(°C)
u_{BS}	Nejistota rozložení teploty v ploše panelu	(°C)
\bar{T}	Průměrná teplota panelu	(°C)
T_i	Teplota, kde i označuje pořadí z n teplot	(°C)
U_T	Celková nejistota měření teploty	(°C)
$U_{T\%}$	Celková nejistota měření teploty v procentech	(%)
U_{Im}	Celková nejistota měření proudu	(%)
U_{Um}	Celková nejistota měření napětí	(%)
U_{Isc}	Celková nejistota měření zkratového proudu	(%)
U_{Uoc}	Celková nejistota měření napětí na prázdko	(%)
U_{Pmpp}	Celková nejistota měření maximálního výkonu	(%)
U_{Umpp}	Celková nejistota měření napětí v bodě MPP	(%)
U_{Impp}	Celková nejistota měření proudu v bodě MPP	(%)
U_{FF}	Celková nejistota měření činitele plnění	(%)
U_{Eff}	Celková nejistota měření účinnosti	(%)

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A - DATASHEET RICH SOLAR RS-M185	56
PŘÍLOHA B – DATASHEET KYOCERA	58
PŘÍLOHA C – DATASHEET SUNERGY	60
PŘÍLOHA D – VÝSTUPY MĚŘENÍ KYOCERA PŘI STC	62
PŘÍLOHA E – VÝSTUPY MĚŘENÍ KYOCERA PŘI NOCTPŘEPOČET	63
PŘÍLOHA F – VÝSTUPY MĚŘENÍ KYOCERA PŘI NOCT	64
PŘÍLOHA G – VÝSTUPY MĚŘENÍ SUNERGY PŘI STC	65
PŘÍLOHA H – VÝSTUPY MĚŘENÍ SUNERGY PŘI NOCTPŘEPOČET	66
PŘÍLOHA I – VÝSTUPY MĚŘENÍ SUNERGY PŘI NOCT	67
PŘÍLOHA J – VÝPOČET NEJISTOTY PASAN SUNSIM 3C	68
PŘÍLOHA K – DATASHEET TERMOKAMERY FLIR I7	75

Příloha A - Datasheet Rich Solar RS-M185



www.richsolar.com

180W-200W Monocrystalline Solar Module RS-M180 RS-M185 RS-M190 RS-M195 RS-M200

- Easy and flexible installation for various applications
- Module with sturdy aluminum frame to withstand wind loads (2400 Pascal) and snow loads (5400 Pascal)
- Anti-reflective coating improves light absorption for both cells and module
- High-performance EVA and back sheet meet the highest requirement of module sealing
- Aesthetic design and environment-friendly packing
- Meeting the highest international standards: ISO9001 and ISO14001 Independently certified with TUV, IEC61215, IEC61730, CE and UL
- Guaranteed 0~5W positive power output tolerance
- 10 years manufacturing warranty
12 years warranty, 90% power output
25 year warranty, 80% power output



Come with us
for a greener future



Founded in 2005, RICH SOLAR is a reliable photovoltaic manufacturer, producing both monocrystalline and polycrystalline solar cells and solar modules with the most exquisite technology. By the year 2010, RICH SOLAR reaches a total capacity of 200MW. RICH SOLAR holds a harmonious relationship cooperating with the solar power companies worldwide. Its products could be used in residential, commercial, industrial and public utility applications. RICH SOLAR aims to bring the most profitable value for our customers by providing world-class products and service, which, in return, gives us favorable reputation.

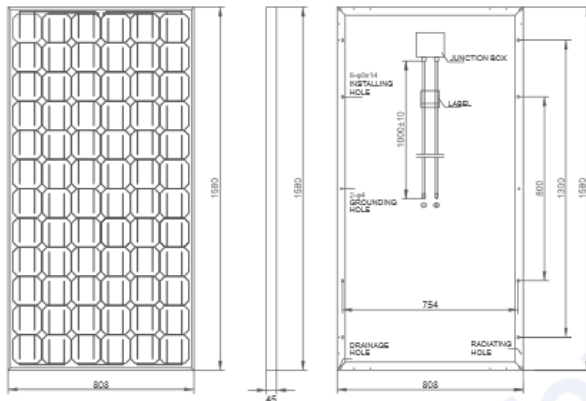
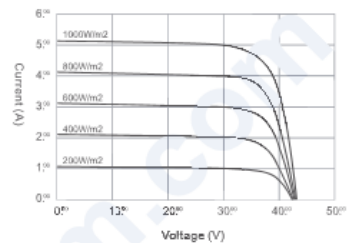
With the philosophy of **R**esponsibility, **I**nnovation, **C**redibility and **H**onesty, RICH SOLAR welcomes more passionate partners to join us and create a greener future.

Rich Solar Technology Co., Ltd.

Qiubin Industrial Zone, Jinhua, Zhejiang, China
T +86 (579) 8245 6333
F +86 (579) 8245 2333
E sales@richsolar.com
www.richsolar.com



Responsibility Innovation Credibility Honesty

Dimensions of Solar Module RS-M180-200 (Unit: mm)

I-V Curves

Electrical Characteristics

	RS-M180	RS-M185	RS-M190	RS-M195	RS-M200
Peak Power Watts-Pmax (WP)	180	185	190	195	200
Maximum Power Voltage-Vmp (V)	36.3	36.4	36.6	36.8	37.4
Maximum Power Current-Imp (A)	4.96	5.08	5.19	5.30	5.35
Open Circuit Voltage-Voc (V)	44.4	44.6	44.8	45.2	45.4
Short Circuit Current-Isc (A)	5.31	5.45	5.53	5.62	5.78
Encapsulated Cell Efficiency η_c (%)	16.9	17.3	17.7	17.5	17.9
Module Efficiency η_m (%)	14.1	14.5	14.9	15.3	15.7

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

General Data

Cell Type	125 x 125mm Monocrystalline silicon, 72pcs in series
Glass	High Transmission, Low Iron, Tempered Glass 3.2mm
Frame	Anodized Aluminum Alloy
Junction Box	MC4 connector, TUV Certified

Temperature Ratings

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	47±2°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.45%/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.35%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.05%/°C

Mechanical and Packing Configuration

Dimensions	1580 x 808 x 45mm
Weight	15.5kg
Cable Length	1000mm
Loading Capacity	672pcs/40ft, 288pcs/20ft

Maximum Ratings

Operating Temperature	-40 ~ +85°C
Maximum System Voltage	1000VDC
Number of Bypass Diodes	3pcs
Maximum Series Fuse	15A

Příloha B – Datasheet Kyocera



We care! Since 1975.

P-series

KD140GH-2PU · KD190GH-2PU · KD215GH-2PU · KD245GH-4PB2



Apartment Berlin, Germany

CUTTING-EDGE TECHNOLOGY

▶ Cell:

- 156 mm × 156 mm
- Polycrystalline, 3-busbar
- >16% efficiency
- Embedded in EVA film
- Patented RIE process: very little light reflection, homogenous dark coloration

▶ Frame:

- Aluminium, black anodised and coated
- Screwed and also adhered
- Load capacity: 5,400 N/m²
- Interior drainage openings to protect against frost damage
- Flexible assembly (horizontal and upright)
- Approved for module inlay systems
- 60-cell modules: reinforced on rear side with 2 support bars

▶ Junction box:

- Incl. bypass diodes
- Encapsulated
- Highest fireproof class 5VA in accordance with UL94

- 36-/ 48-/ 54-cell modules: pre-configured with connection wires and original multi-contact plug connectors
- 60-cell modules: pre-configured with connection wires and SMK plug connectors (MC4 compatible)

▶ Pairing:

- Sorting procedure: Nominal output is achieved by two paired modules (e.g. ≥ 490 Wp for 2 × KD245GH-4PB2)

▶ Production:

- Fully automated and integrated production processes in our own production plants
- Vertical integration = 100% control

▶ Service:

- Professional Europe-wide customer service in Esslingen/Germany
- Individual maintenance service increases life expectancy of the photovoltaic system

COMPANY

As a pioneer in the photovoltaic sector, Kyocera Solar can look back on over 35 years of experience. We are also involved in numerous future-oriented solutions across the world. Our focus is on innovation and quality.

Our vision: To make solar energy accessible to everybody and to ensure a comprehensive sustained energy supply.

Kyocera photovoltaic modules meet the highest standards



- Periodic inspection
- Qualified, IEC 61215
- Safety tested, IEC 61730
- Long-term sequential testing



IEC 61701



Kyocera is ISO 9001, ISO 14001 and OHSAS 18001 certified and registered.

ELECTRICAL PERFORMANCE P-SERIES

PV Module Type	KD140GH-2PU	KD190GH-2PU	KD215GH-2PU	KD245GH-4PB2
At 1000 W/m² (STC)⁽¹⁾				
Maximum Power [W]	140	190	215	245
Maximum System Voltage [V]	1000	1000	1000	1000
Maximum Power Voltage [V]	17.7	23.6	26.6	29.8
Maximum Power Current [A]	7.91	8.06	8.09	8.23
Open Circuit Voltage [V _{oc}] [V]	22.1	29.5	33.2	36.9
Short Circuit Current [I _{sc}] [A]	8.68	8.82	8.78	8.91
Efficiency [%]	13.9	14.3	14.4	14.8
At 800 W/m² (NOCT)⁽²⁾				
Maximum Power [W]	101	137	155	176
Maximum Power Voltage [V]	16.0	21.3	24.0	26.8
Maximum Power Current [A]	6.33	6.45	6.47	6.58
Open Circuit Voltage [V _{oc}] [V]	20.2	27.0	30.4	33.7
Short Circuit Current [I _{sc}] [A]	7.03	7.14	7.11	7.21
NOCT [°C]	45	45	45	45
Power Tolerance [%]	+5 / -5	+5 / -5	+5 / -3	+5 / -3
Maximum Reverse Current I _r [A]	15	15	15	15
Series Fuse Rating [A]	15	15	15	15
Temperature Coefficient of V _{oc} [%/K]	-0.36	-0.36	-0.36	-0.36
Temperature Coefficient of I _{sc} [%/K]	0.06	0.06	0.06	0.06
Temperature Coefficient of Max. Power [%/K]	-0.46	-0.46	-0.46	-0.46
Reduction of Efficiency (from 1000 W/m ² to 200 W/m ²) [%]	5.3	5.3	6.0	6.6
DIMENSIONS				
Length [mm]	1500 (+2.5)	1338 (+2.5)	1500 (+2.5)	1662 (+2.5)
Width [mm]	668 (+2.5)	990 (+2.5)	990 (+2.5)	990 (+2.5)
Depth / incl. Junction Box [mm]	46	46	46	46
Weight [kg]	12.5	16	18	20
Cable [mm]	(+)1010 / (-)840	(+)1030 / (-)840	(+)1100 / (-)900	(+)1190 / (-)960
Connection Type	MC PV-KBT3 / MC PV-KST3	MC PV-KBT3 / MC PV-KST3	MC PV-KBT3 / MC PV-KST3	PV-D3 (SMK)
Junction Box [mm]	113 × 82 × 15	113 × 82 × 15	113 × 82 × 15	123 × 91.6 × 16
Number of bypass diodes	2	3	3	3
IP Code	IP65	IP65	IP65	IP65 / IP67
CELLS				
Number per Module	36	48	54	60
Cell Technology	polycrystalline	polycrystalline	polycrystalline	polycrystalline
Cell Shape (square) [mm]	156 × 156	156 × 156	156 × 156	156 × 156
Cell Bonding	3 busbar	3 busbar	3 busbar	3 busbar
GENERAL INFORMATION				
Performance Guarantee	10 ⁽³⁾ / 20 years ⁽⁴⁾	10 ⁽³⁾ / 20 years ⁽⁴⁾	10 ⁽³⁾ / 20 years ⁽⁴⁾	10 ⁽³⁾ / 20 years ⁽⁴⁾
Warranty	10 years ⁽⁵⁾	10 years ⁽⁵⁾	10 years ⁽⁵⁾	10 years ⁽⁵⁾

(1) Electrical values under standard test conditions (STC): irradiation of 1000 W/m², air mass AM 1.5 and cell temperature of 25 °C

(2) Electrical values under normal operating cell temperature (NOCT): irradiation of 200 W/m², air mass AM 1.5, wind speed of 1 m/s and ambient temperature of 20 °C

(3) 10 years or 10% of the originally specified power P under standard test conditions (STC)

(4) 20 years or 10% of the originally specified power P under standard test conditions (STC)


(5) In the case of 20 years

Your local Kyocera dealer:



KYOCERA Finoceramics GmbH
Solar Division
 Fritz-Mueller-Strasse 27
 73730 Esslingen / Germany
 Tel: +49 (0)711-93 93 49 99
 Fax: +49 (0)711-93 93 49 50
 E-Mail: solar@kyocera.de
 www.kyocerasolar.eu

Příloha C – Datasheet Sunergy



Mars Series

435W/440W/445W/450W/455W/460W







SUN 72M-H6

MBB HALF-CELL MONO PV MODULE


COMPREHENSIVE CERTIFICATES

IEC61215 / IEC61730 / IEC61701 / IEC62716 / IEC62804
 ISO 9001: 2015 Quality management systems;
 ISO 14001: 2015 Environmental management systems;
 OHSAS 18001: 2007 Occupational health and safety management systems;

KEY SALIENT FEATURES

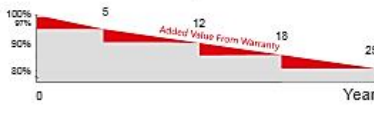
-  **High output power**
-  **Better power generation under shadows**
-  **Strong anti-hot spot ability**
-  **Strong mechanical load capacity**
-  **Super strong frame**
-  **1500V system voltage**


QUALIFICATIONS AND CERTIFICATES



LINEAR PERFORMANCE WARRANTY


- 12 Years Manufacturing Warranty
- 12 Years 90% Power Output
- 25 Years 80% Power Output





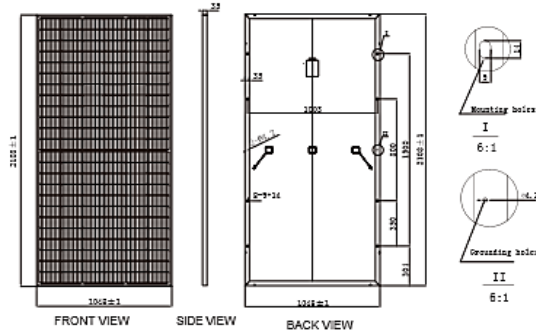
SUNERGY

SUNERGY USA WORKS LLC
www.sunergyworks.com

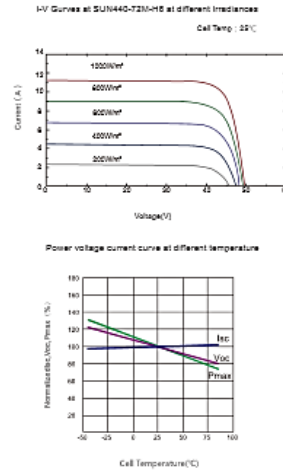


Mars Series SUN 72M-H6

MECHANICAL DRAWINGS



I-V CURVES



MECHANICAL SPECIFICATION

Cell Type	Mono Crystalline 166x83mm
Number Of Cells	144 (6x24)
Dimensions(AxBxC)	2108x1048x35mm
Weights	24.5kg
Glass	3.2mm Tempered Low Iron Glass
Aluminium Frame	Anodised Aluminium
Junction Box	Split Junction Box (IP68 ,three diode)
Connector	Mc4 Compatible
Output Cables	4.0mm²,+300mm,-300mm Customized Length

PACKING CONFIGURATION

Container	40' HQ
Pieces Per Pallet	31
Pallets Per Container	22
Pieces Per Container	704

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Module Type	435W		440W		445W		450W		455W		460W	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power At STC(Pmax)	435W	327.0W	440W	330.7W	445W	334.5W	450W	338.3W	455W	342.0W	460W	345.8W
Short Circuit Current(Isc)	11.14A	9.00A	11.21A	9.06A	11.29A	9.12A	11.36A	9.18A	11.43A	9.24A	11.50A	9.29A
Open Circuit Voltage(Voc)	49.2V	45.9V	49.4V	46.1V	49.7V	46.3V	50.0V	46.6V	50.3V	46.9V	50.6V	47.2V
Maximum Power Current(Imp)	10.66A	8.53A	10.73A	8.59A	10.80A	8.65A	10.87A	8.70A	10.94A	8.75A	11.01A	8.71A
Maximum Power Voltage(Vmpp)	40.8V	38.3V	41.0V	38.5V	41.2V	38.7V	41.4V	38.9V	41.6V	39.1V	41.8V	39.3V
Module Efficiency	19.69%		19.92%		20.14%		20.37%		20.60%		20.82%	
Power Tolerance	0~+5W		0~+5W		0~+5W		0~+5W		0~+5W		0~+5W	
Maximum System Voltage							VDC 1500V					
Maximum Series Fuse							20A					
Increased Snowload Acc.to Iec 61215							5400Pa					
Operating Temperature							-40~+85°C					
Number Of Bypass Diodes							3					
Nominal Operating Cell Temperature(Noct)							45°C±2°C					
Temperature Coefficient Of Pmax							-0.36%/°C					
Temperature Coefficient Of Voc							-0.29%/°C					
Temperature Coefficient Of Isc							0.05%/°C					

STC: 1000W/m² Irradiance, 25°C cell temperature, AM1.5. NOCT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20°C, wind speed 1m/s.



SUNERGY USA WORKS LLC
www.sunergyworks.com

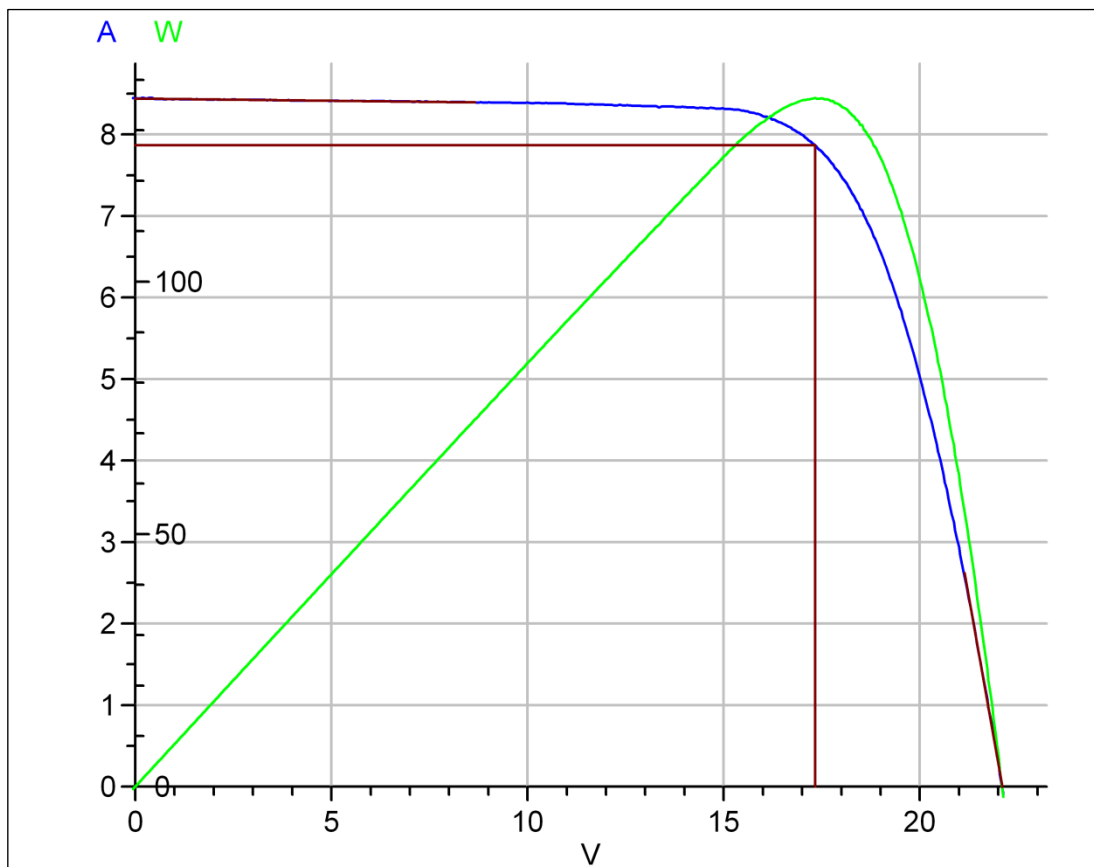


Příloha D – Výstupy měření Kyocera při STC

Výsledky měření volt-ampérové charakteristiky

Datum a čas měření: 29-03-22, 10-24
Výrobce: Kyocera
S/N: 117EQR5531
Typ modulu: KD140GH-2PU

T_p	25.0	°C
$G_{(i)}$	1.0	kW/m ²
I_{sc}	8.440	A
U_{oc}	22.105	V
Eff.	13.61	%
FF	73.11	%
P_{mpp}	136.395	W
U_{mpp}	17.335	V
I_{mpp}	7.868	A
R_{ser}	0.4	Ohm
R_{sh}	197.9	Ohm

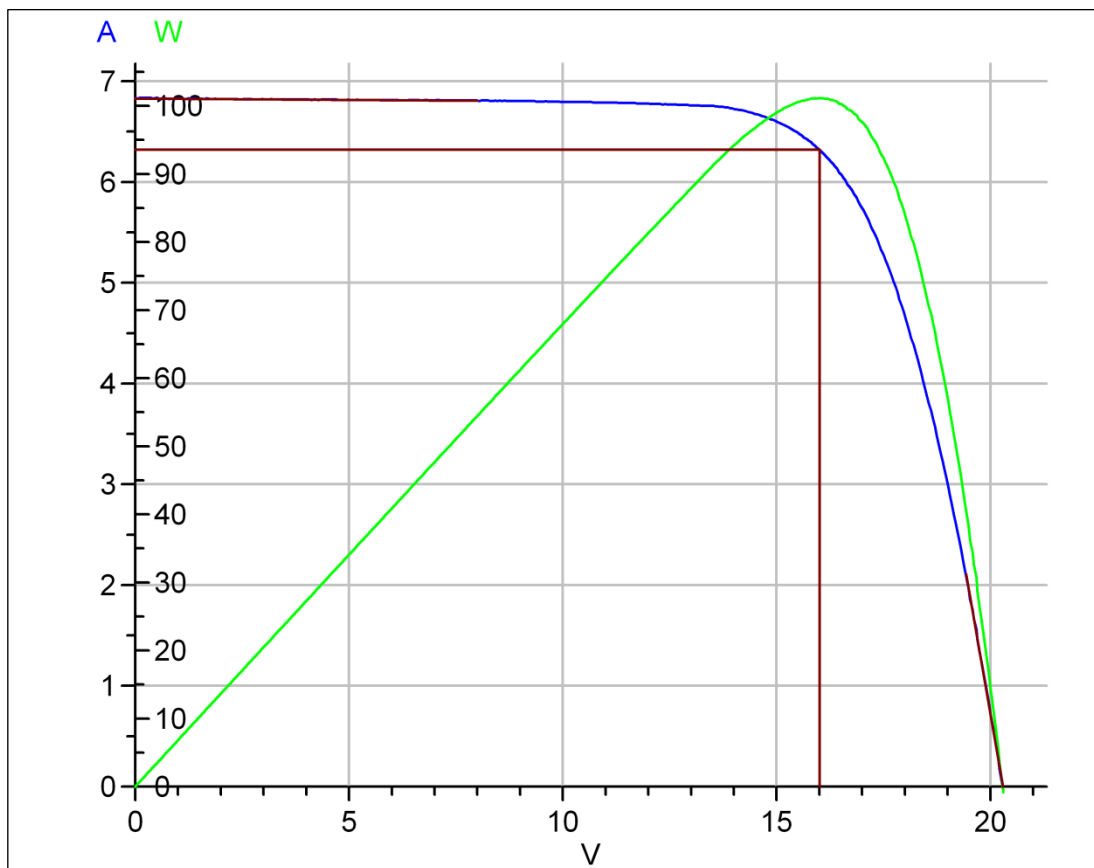


Příloha E – Výstupy měření Kyocera při NOCT přepočet

Výsledky měření volt-ampérové charakteristiky

Datum a čas měření: 29-03-22, 10-50
Výrobce: Kyocera
S/N: 117EQR5531
Typ modulu: KD140GH-2PU

T_p	45.0	°C
$G_{(i)}$	0.8	kW/m ²
I_{sc}	6.830	A
U_{oc}	20.295	V
Eff.	12.62	%
FF	72.98	%
P_{mpp}	101.165	W
U_{mpp}	16.008	V
I_{mpp}	6.320	A
R_{ser}	0.4	Ohm
R_{sh}	338.7	Ohm

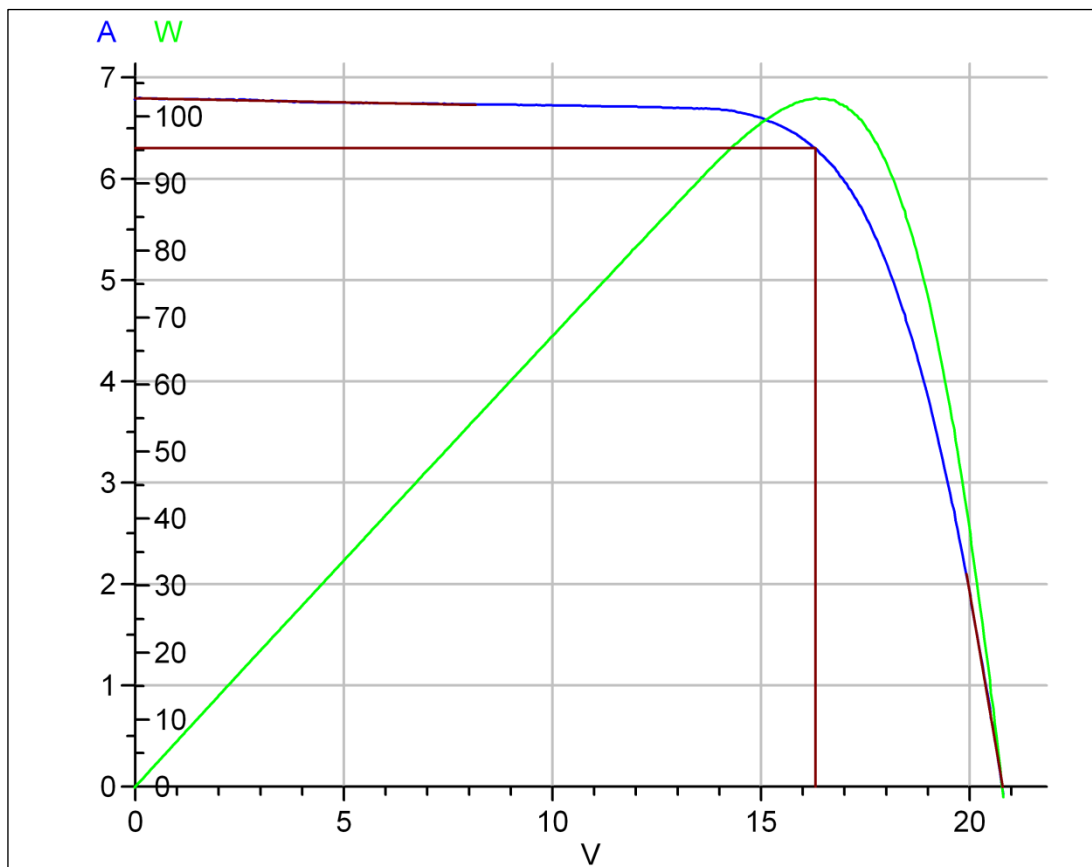


Příloha F – Výstupy měření Kyocera při NOCT

Výsledky měření volt-ampérové charakteristiky

Datum a čas měření: 26-04-22, 12-03
Výrobce: Kyocera_NOCT
S/N: 117EQR5531
Typ modulu: KD140GH-2PU

T_p	25.0	°C
$G_{(i)}$	0.8	kW/m ²
I_{sc}	6.795	A
U_{oc}	20.791	V
Eff.	12.82	%
FF	72.74	%
P_{mpp}	102.765	W
U_{mpp}	16.306	V
I_{mpp}	6.302	A
R_{ser}	0.4	Ohm
R_{sh}	126.7	Ohm

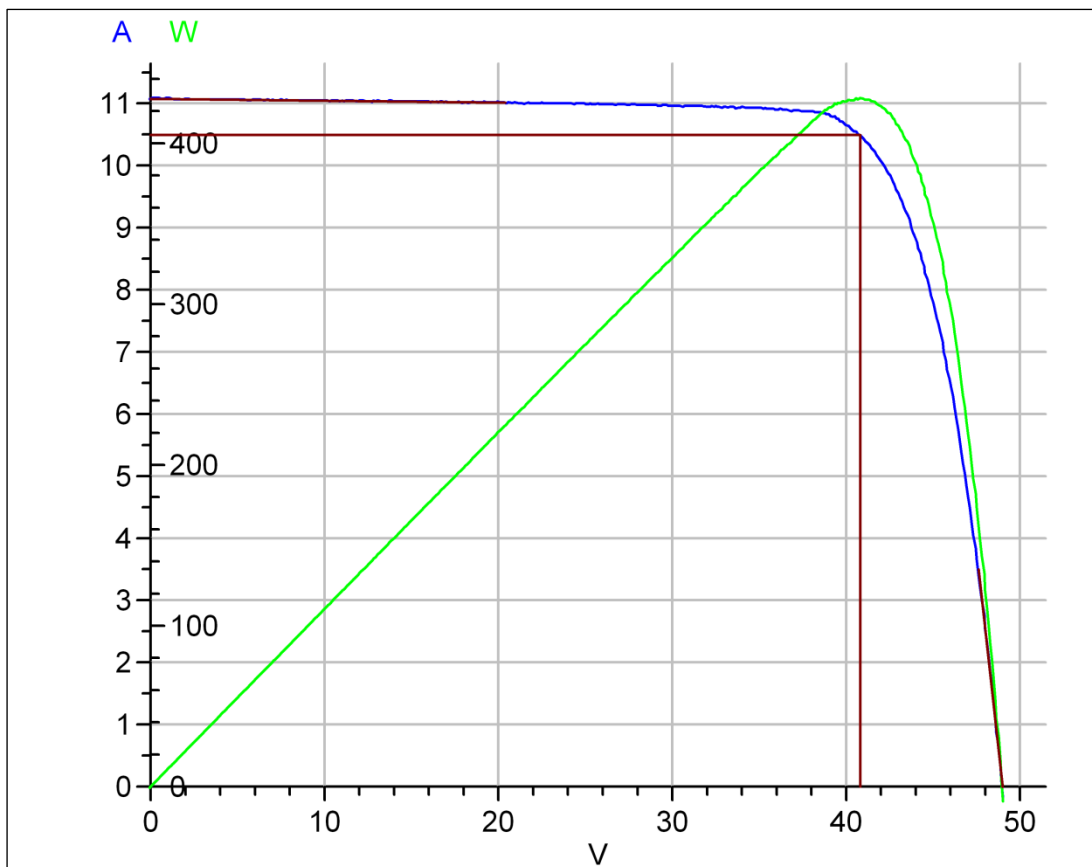


Příloha G – Výstupy měření Sunergy při STC

Výsledky měření volt-ampérové charakteristiky

Datum a čas měření: 26-04-22, 10-36
Výrobce: SUNergy
S/N: SUN21033520733
Typ modulu: SUN 450-72M-A6

T_p	25.0	°C
$G_{(i)}$	1.0	kW/m ²
I_{sc}	11.077	A
U_{oc}	48.993	V
Eff.	19.38	%
FF	78.90	%
P_{mpp}	428.153	W
U_{mpp}	40.812	V
I_{mpp}	10.491	A
R_{ser}	0.4	Ohm
R_{sh}	331.3	Ohm

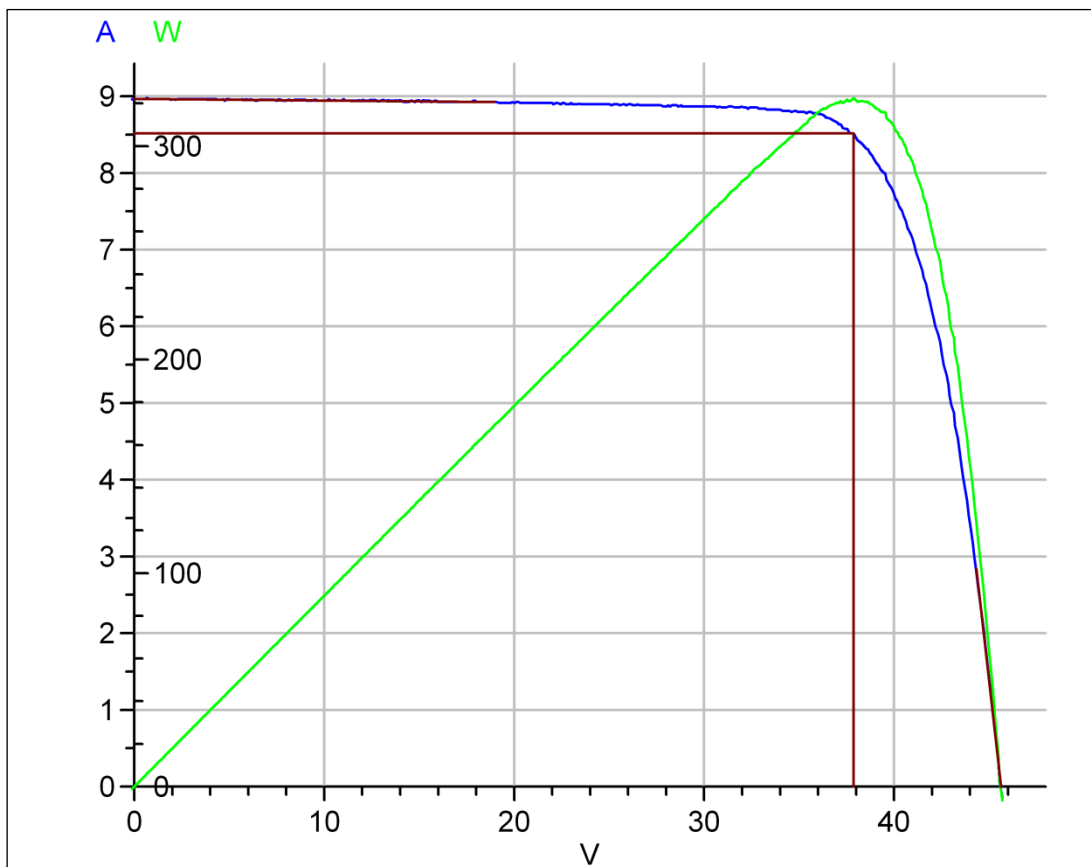


Příloha H – Výstupy měření Sunergy při NOCTpřepočet

Výsledky měření volt-ampérové charakteristiky

Datum a čas měření: 26-04-22, 10-46
Výrobce: SUNergy
S/N: SUN21033520733
Typ modulu: SUN 450-72M-A6

T_p	45.0	°C
$G_{(i)}$	0.8	kW/m ²
I_{sc}	8.968	A
U_{oc}	45.633	V
Eff.	18.25	%
FF	78.82	%
P_{mpp}	322.536	W
U_{mpp}	37.876	V
I_{mpp}	8.516	A
R_{ser}	0.5	Ohm
R_{sh}	464.9	Ohm

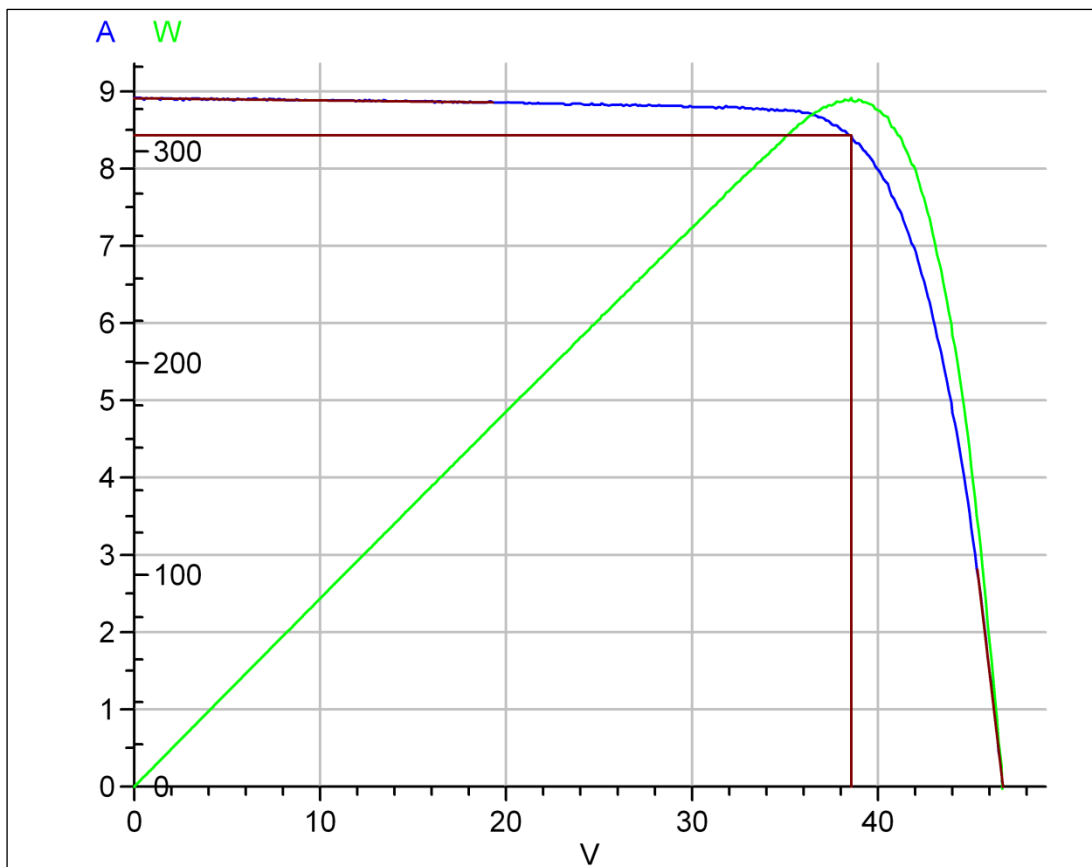


Příloha I – Výstupy měření Sunergy při NOCT


Výsledky měření volt-ampérové charakteristiky

Datum a čas měření: 26-04-22, 12-30
Výrobce: SUNergy NOCT
S/N: SUN21033520733
Typ modulu: SUN 450-72M-A6

T_p	45.0	°C
$G_{(i)}$	0.8	kW/m ²
I_{sc}	8.911	A
U_{oc}	46.722	V
Eff.	18.40	%
FF	78.10	%
P_{mpp}	325.180	W
U_{mpp}	38.578	V
I_{mpp}	8.429	A
R_{ser}	0.5	Ohm
R_{sh}	364.3	Ohm




Příloha J – Výpočet nejistoty Pasan SunSim 3c

 Zkušební laboratoř CVVOZE	VÝPOČET NEJISTOT
	Vysoké učení technické v Brně, FEKT Zkušební laboratoř CVVOZE Technická 3082/12, 61600 Brno

Pracoviště: ZL2 CVVOZE

Seznam všech stupujících nejistot:

Nejistota název	Zdroj nejistoty	Nejistota			
		Rozsah měření / hodnota	Hodnota nejistoty / %	k	reference
U _{M-DMM}	Měřicí karta – intenzita + Monitor Cell 20035 Mono+Th 0°C<T<50°C Sensitivity 136,74mV	0,05 V	0,18	2	Ord. 001027987-1228
		0,1 V	0,18	2	
		0,15 V	0,12	2	
U _{Mi}	Měřicí karta - proudZ	0,1 A	0,04	2	Ord. 001027987-1228
		0,3 A	0,04	2	
		1 A	0,06	2	
		3 A	0,08	2	
		10 A	0,12	2	
		30 A	0,12	2	
U _{MV}	Měřicí karta - napětí	0,7 V	0,04	2	Ord. 001027987-1228
		1 V	0,04	2	
		3 V	0,04	2	
		10 V	0,04	2	
		30 V	0,04	2	
		100 V	0,04	2	
		300 V	0,04	2	
U _{MT}	Měřicí karta – teplota + Monitor Cell 20035 Mono+Th 0°C<T<50°C Sensitivity 136,74mV	0-50°C pro 25°C	0,2	2	Ord. 001027987-1228
U _{MISCR}	Referenční modul - I _{sc}	6.9 A	1,3	2	Protokoll-Nr: PAS091092PAS1013- V01
U _{MUOCR}	Referenční modul - U _{oc}	0,598 V	0,7	2	Protokoll-Nr: PAS091092PAS1013- V01
U _{MIMPPR}	Referenční modul - I _{mpp}	6,279 W	1,7	2	Protokoll-Nr: PAS091092PAS1013- V01
U _{MUMPPR}	Referenční modul - U _{mpp}	0,434 V	1,2	2	Protokoll-Nr: PAS091092PAS1013- V01

 Zkušební laboratoř CVOZE	VÝPOČET NEJISTOT
	Vysoké učení technické v Brně, FEKT Zkušební laboratoř CVOZE Technická 3082/12, 61600 Brno

Nejistota název	Zdroj nejistoty	Nejistota			
		Rozsah měření / hodnota	Hodnota nejistoty / %	k	reference
U _{MMPPR}	Referenční modul - W _{mpp}	2,723	1,8	2	Protokoll-Nr: PAS091092PAS1013- V01
U _{MFF}	Referenční modul - FF	65,984 %	2,2	2	Protokoll-Nr: PAS091092PAS1013- V01
U _{MEFF}	Referenční modul - EFF	5,810 %	2,3	2	Protokoll-Nr: PAS091092PAS1013- V01
U _{MISCO}	Nejistota A I _{sc}	2,848 A	0,03	2	Repeatability measurement
U _{MVOC0}	Nejistota A V _{oc}	20,904	0,02	2	Repeatability measurement
U _{MMFPO}	Nejistota A M _{pp}	41,991	0,06	2	Repeatability measurement
U _{MA}	Plocha	1.6 m ²	0,63	2	KL_P08696/2013
U _S	Plošná nejednotnost záření	4 m ²	0,281	2	Site Acceptance Test report 2012
U _M	Spektrální nezhoda	0,99865			SMM_Calculation_02


Stanovení výsledné nejistoty

Výsledné nejistoty jsou určovány na základě statistického přístupu. Výsledná hodnota nejistoty je stanovena ve shodě s dokumentem S 5.4.6 Odhad nejistoty měření. Při výpočtu nejistoty se vychází z kombinace nejistoty měření elektrických veličin, nejistot parametrů referenčního panelu/článku, teploty a optických vlastností ozáření slunečního simulátoru.

$$u(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m A_i^2 u_i^2(x_i)}$$

$$A_i = \frac{\partial f(X_i)}{\partial X_i}$$

Hodnoty nejistoty proudu, napětí, ozáření a teploty jsou uvedeny v kalibračním protokolu elektronické zátěže BV66 slunečního simulátoru (zpráva číslo: Ord.0001027987-1228; ze dne 10.7.2012). Uvedená rozšířená nejistota je založena na standardní nejistotě násobené koeficientem rozšíření k = 2 a poskytuje úroveň spolehlivosti přibližně 95%. Případná chyba způsobená spektrálním nepřizpůsobením

	VÝPOČET NEJISTOT
	Vysoké učení technické v Brně, FEKT Zkušební laboratoř CVVOZE Technická 3082/12, 61600 Brno

referenčního FV vzorku a zkušebního vzorku je u monokrystalických a multikrystalických FV modulů zanedbatelná a je obsažena ve stanovené nejistotě měření. U tenkovrstvých technologií je tato chyba individuální a je taktéž obsažena ve stanovené nejistotě měření.

Nejistota I_{sc}

Nejistota proudu na krátko je dána kombinací nejistoty proudu na krátko referenčního modulu a kombinovanou nejistotou jednotlivých veličin ovlivňující velikost měřené veličiny. Výsledná hodnota měřené veličiny proudu je dána vztahem používaným ve výpočtu zařízení PASAN:

$$I_m = I_{mr} + I_{scr} \left[\frac{G_{std} + \theta(t_{st} - t)}{G} - 1 \right] + \alpha S_{cl} N_{ep} (t_{st} - t)$$

Kde

- I_{mr} – naměřená hodnota proudu
- I_{scr} – vypočtená kalibrovaná hodnota proudu na krátko.
- G_{std} – referenční hodnota intenzity osvětlení
- G – naměřená hodnota intenzity osvětlení
- θ – korekční faktor monitorovacího článku osvětlení
- α – korekční faktor I_{sc} a vlivu teploty
- S_{cl} – plocha článku
- N_{ep} – počet článků zapojených paralelně
- t_{st} – referenční hodnota teploty
- t – naměřená hodnota teploty

Po roznásobení:

$$I_m = I_{mr} + \frac{G_{std}}{G} I_{scr} + \frac{\theta}{G} t_{st} I_{scr} - \frac{\theta}{G} t I_{scr} - I_{scr} + \alpha S_{cl} N_{ep} t_{st} - \alpha S_{cl} N_{ep} t$$

$$I_m = I_{mr} - I_{scr} + k_1 \frac{I_{scr}}{G} + k_2 \frac{I_{scr}}{G} + k_3 \frac{t I_{scr}}{G} + k_4 S_{cl} - k_5 S_{cl} t$$

Nejistoty jednotlivých členů:

$$U_{Im} = 2 \sqrt{\left(\frac{U_{MISCO}}{2}\right)^2 + \left(\frac{U_{MI}}{2}\right)^2 + 2 \left(\frac{U_{MT}}{2}\right)^2 + \left(\frac{U_{MA}}{2}\right)^2 + 3 \left(\frac{U_{MDMM}}{2\sqrt{3}}\right)^2 + 4 \left(\frac{U_{MISCR}}{2}\right)^2}$$

$$U_{Im} = 2 \sqrt{\frac{0,03^2}{4} + \frac{0,12^2}{4} + \frac{0,2^2}{2} + \frac{0,63^2}{4} + \frac{0,18^2}{4} + 1,3^2}$$


Procentní nejistota měření proudu I_m

$$U_{Im} = 2,68\%$$

Vliv nejistoty hodnoty I_{sc} referenčního modulu tuto nejistotu zvýší na:

$$U_{Isc} = 2 \sqrt{\left(\frac{U_{MISCR}}{2}\right)^2 + \left(\frac{U_{Im}}{2}\right)^2}$$

$$U_{Isc} = 2,9\%$$

	VÝPOČET NEJISTOT
	Vysoké učení technické v Brně, FEKT Zkušební laboratoř CVOZE Technická 3082/12, 61600 Brno

Nejistota Voc

Nejistota napětí na prázdko je dána kombinací nejistoty napětí na prázdko referenčního modulu a kombinovanou nejistotou jednotlivých veličit ovlivňující velikost měřené veličiny. Výsledná hodnota měřené veličiny napětí je dána vztahem používanou ve výpočtu zařízení PASAN:

$$V_m = V_{rde} + \left(\beta - \frac{\alpha I_m}{N_{ep}} \right) N_{es} (t_{st} - t)$$

Kde

V_{rde} – naměřená hodnota napětí
 I_m – vypočtená kalibrovaná hodnota proudu.
 α - korekční faktor I_{sc} a vlivu teploty
 β - korekční faktor U_{oc} a vlivu teploty
 N_{ep} – počet článků zapojených paralelně
 N_{es} – počet článků zapojených sériově
 t_{st} – referenční hodnota teploty
 t – naměřená hodnota teploty

Po roznásobení:

$$V_m = V_{rde} + \beta N_{es} t_s - \beta N_{es} t + \frac{\alpha I_m N_{es} t_s}{N_{ep}} - \frac{\alpha I_m N_{es} t}{N_{ep}}$$

$$V_m = V_{mde} + k_1 - k_2 t + k_3 I_m + k_4 I_m t$$

Nejistoty jednotlivých členů:

$$U_{V_m} = 2 \sqrt{\left(\frac{U_{MV}}{2} \right)^2 + 2 \left(\frac{U_{MT}}{2} \right)^2 + \left(\frac{U_{MI}}{2\sqrt{3}} \right)^2}$$

$$U_{V_m} = 2 \sqrt{\frac{0,03^2}{4} + \frac{0,2^2}{2} + \frac{2,68^2}{12}}$$


Procentní nejistota měření proudu I_{sc}

$$U_{V_m} = 1,58 \%$$

Vliv nejistoty hodnoty I_{sc} referenčního modulu tuto nejistotu zvlášť na:

$$U_{V_{oc}} = 2 \sqrt{\left(\frac{U_{MUOCR}}{2} \right)^2 + \left(\frac{U_{V_m}}{2} \right)^2}$$

$$U_{I_{sc}} = 1,7 \%$$

	VÝPOČET NEJISTOT
	Vysoké učení technické v Brně, FEKT Zkušební laboratoř CVOZE Technická 3082/12, 61600 Brno

Nejistota napětí v bodě maximálního výkonu V_{PMM}

Nejistota napětí na v bodě maximálního výkonu je dána kombinací nejistoty napětí v bodě maximálního výkonu referenčního modulu a kombinovanou nejistotou jednotlivých veličit ovlivňující velikost měřené veličiny.

Nejistota měření napětí byla stanovena

$$U_{Vm} = 1,58 \%$$

Pak

$$U_{Voc} = 2 \sqrt{\left(\frac{U_{MUPPMMR}}{2}\right)^2 + \left(\frac{U_{Vm}}{2}\right)^2}$$

$$U_{Voc} = 2 \sqrt{\left(\frac{1,2}{2}\right)^2 + \left(\frac{1,58}{2}\right)^2}$$

$$U_{Voc} = 2,0 \%$$

Nejistota proudu v bodě maximálního výkonu I_{PMM}

Nejistota hodnoty proudu v bodě maximálního výkonu je dána kombinací nejistoty proudu v bodě maximálního výkonu referenčního modulu a kombinovanou nejistotou jednotlivých veličit ovlivňující velikost měřené veličiny.

Nejistota měření proudu byla stanovena


$$U_{Im} = 2,68 \%$$

Pak

$$U_{Voc} = 2 \sqrt{\left(\frac{U_{MIPPMR}}{2}\right)^2 + \left(\frac{U_{Im}}{2}\right)^2}$$

$$U_{Voc} = 2 \sqrt{\left(\frac{1,7}{2}\right)^2 + \left(\frac{2,68}{2}\right)^2}$$

$$U_{Voc} = 3,1 \%$$

	VÝPOČET NEJISTOT
	Vysoké učení technické v Brně, FEKT Zkušební laboratoř CVOZE Technická 3082/12, 61600 Brno

Nejistota výkonu v bodě maximálního výkonu W_{MPP}

Nejistota hodnoty výkonu v bodě maximálního výkonu je dána kombinací nejistoty výkonu v bodě maximálního výkonu referenčního modulu a kombinovanou nejistotou jednotlivých veličit ovlivňující velikost měřené veličiny.

$$W_{MPP} = \max(I_m, V_m)$$

Nejistota měření proudu byla stanovena

$$U_{I_m} = 2,68 \%$$

Nejistota měření napětí byla stanovena

$$U_{V_m} = 1,58 \%$$

Pak

$$U_{MPP} = 2 \sqrt{\left(\frac{U_{MMPPR}}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{U_{I_m}}{2}\right)^2 + \left(\frac{U_{V_m}}{2}\right)^2}$$

$$U_{MPP} = 2 \sqrt{\left(\frac{1,8}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{2,68}{2}\right)^2 + \left(\frac{1,58}{2}\right)^2}$$

$$U_{MPP} = 3,1 \%$$

Nejistota činitele plnění FF

Nejistota hodnoty činitele plnění je dána kombinací nejistoty činitele plnění referenčního modulu a kombinovanou nejistotou jednotlivých veličit ovlivňující velikost měřené veličiny.


$$FF = \frac{MPP}{I_{sc}V_{oc}}$$

Pak

$$U_{FF} = 2 \sqrt{\left(\frac{U_{MPP}}{2}\right)^2 + \left(\frac{U_{I_{sc}}}{2}\right)^2 + \left(\frac{U_{V_{oc}}}{2}\right)^2}$$

$$U_{FF} = 2 \sqrt{\left(\frac{3,1}{2}\right)^2 + \left(\frac{1,7}{2}\right)^2 + \left(\frac{2,0}{2}\right)^2}$$

$$U_{FF} = 4,2 \%$$

 Zkušební laboratoř CVOZE	VÝPOČET NEJISTOT
	Vysoké učení technické v Brně, FEKT Zkušební laboratoř CVOZE Technická 3082/12, 61600 Brno

Nejistota účinnosti EFF

Nejistota hodnoty účinnosti je dána kombinací nejistot kombinovaných nejistot jednotlivých veličin ovlivňující velikost měřené veličiny.

$$EFF = \frac{MPP}{G_{STD} A_m}$$

Pak

$$U_{EFF} = 2 \sqrt{\left(\frac{U_{MPP}}{2}\right)^2 + \left(\frac{U_{M-DMM}}{2}\right)^2 + \left(\frac{U_{MA}}{2}\right)^2}$$

$$U_{EFF} = 2 \sqrt{\left(\frac{3,1}{2}\right)^2 + \left(\frac{0,18}{2}\right)^2 + \left(\frac{0,63}{2}\right)^2}$$

$$U_{EFF} = 3,5 \%$$

Tabulka vypočtených nejistot:

Veličina	nejistota
I _{sc}	2.9%
U _{oc}	1.7%
Eff	3.5%
FF	4.2%
P _{mpp}	3.2%
U _{mpp}	2.0%
I _{mpp}	3.1%

Zpracoval: doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Datum: 8. 9. 2013

Příloha K – Datasheet termokamery Flir i7



Technical Data FLIR i7

Part number:
60101-0301

Copyright

© 2012, FLIR Systems, Inc.

All rights reserved worldwide. Names and marks appearing herein are either registered trademarks or trademarks of FLIR Systems and/or its subsidiaries. All other trademarks, trade names or company names referenced herein are used for identification only and are the property of their respective owners.

December 16, 2012, 04:59 AM

Corporate Headquarters

FLIR Systems, Inc.
27700 SW Parkway Ave.
Wilsonville, OR 97070
USA

Telephone: +1-503-498-3547

Website

<http://www.flir.com>

Customer support

<http://support.flir.com>

Legal disclaimer

Specifications subject to change without further notice. Camera models and accessories subject to regional market considerations. License procedures may apply.

Information and equipment described herein may require US Government authorization for export purposes. Diversion contrary to US law is prohibited.



Imaging and optical data

IR resolution	140 x 140 pixels
Thermal sensitivity(NETD)	< 0.1°C (0.18°F) / 100 mK
Field of view (FOV)	29° x 29°
Minimum focus distance	0.6 m (2 ft.)
Spatial resolution (IFOV)	3.7 mrad
Image frequency	9 Hz
Focus	Focus free

Detector data

Detector type	Focal plane array (FPA), uncooled microbolometer
Spectral range	7.5–13 µm

Image presentation

Display	2.8 in. color LCD
Image adjustment	Automatic adjust/lock image

Measurement

Object temperature range	-20°C to +250°C (-4°F to +482°F)
Accuracy	±2°C (±3.6°F) or ±2% of reading, for ambient temperature 10°C to 35°C (+50°F to 95°F) and object temperature above +0°C (+32°F)

Measurement analysis

Spotmeter	Center spot
Area	Box with max./min.
Isotherm	Above/below
Emissivity correction	Variable from 0.1 to 1.0
Emissivity table	Emissivity table of predefined materials
Reflected apparent temperature correction	Automatic, based on input of reflected temperature

Set-up

Color palettes	Black and white, iron and rainbow
Set-up commands	Local adaptation of units, language, date and time formats

Storage of images

Storage media	miniSD card
File formats	Standard JPEG, 14-bit measurement data included



FLIR i7

P/N: 60101-0301

© 2012, FLIR Systems, Inc.
All rights reserved worldwide.

Data communication interfaces

Interfaces	USB Mini-B: Data transfer to and from PC
------------	--

Power system

Battery type	Rechargeable Li Ion battery
Battery voltage	3.6 V
Battery operating time	Approx. 5 hours at +25°C (+77°F) ambient temperature and typical use
Charging system	Battery is charged inside the camera.
Charging time	3 h to 90% capacity
Power management	Automatic shut-down
AC operation	AC adapter, 90-260 VAC input, 5 VDC output to camera

Environmental data

Operating temperature range	0°C to +50°C (+32°F to +122°F)
Storage temperature range	-40°C to +70°C (-40°F to +158°F)
Humidity (operating and storage)	IEC 60068-2-30/24 h 95% relative humidity
EMC	<ul style="list-style-type: none">EN 61000-6-2:2005 (Immunity)EN 61000-6-3:2007 (Emission)FCC 47 CFR Part 15 Class B (Emission)
Encapsulation	Camera housing and lens: IP 43 (IEC 60529)
Bump	25 g (IEC 60068-2-29)
Vibration	2 g (IEC 60068-2-6)
Drop	2 m (6.6 ft.)

Physical data

Camera weight, incl. battery	0.365 kg (0.80 lb.)
Camera size (L x W x H)	223 x 79 x 85 mm (8.8 x 3.1 x 3.4 in.)
Material	Polycarbonate + acrylonitrile butadiene styrene (PC-ABS) Thixomold magnesium Thermoplastic elastomer (TPE)
Color	Black and gray

Certifications

Certification	UL, CSA, CE, PSE and CCC
---------------	--------------------------

Shipping information

Packaging, type	Hard case
	<ul style="list-style-type: none">Hard transport caseInfrared cameraBattery (inside camera)Calibration certificateDownloads brochureFLIR Tools softwareminiSD card, with SD card adapterPower supply/charger with EU, UK, US and Australian plugsPrinted Getting Started GuidePrinted Important Information GuideService & training brochureUSB cableUser documentation CD-ROMWarranty extension card