

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Testovací postupy pro koncentrovanou fotovoltaiku

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2016/2017

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

Jméno a příjmení: **Patrik BŘEZINA**
Osobní číslo: **E14B0083P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Testovací postupy pro koncentrovanou fotovoltaiku**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

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

1. Seznamte se problematikou fotovoltaických panelů.
2. Uveďte jejich základní parametry.
3. Uveďte metody a postupy testování koncentrovaných fotovoltaických panelů a modulů.
4. Realizujte vybrané metody a postupy z předchozího bodu zadání.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **LIBRA, Martin, POULEK, Vladislav. Fotovoltaika - Teorie i praxe využití solární energie, ILSA, Praha, 2009.**
2. **Norma ČSN EN 62108**
3. **Elektronické informační zdroje**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Hlína**

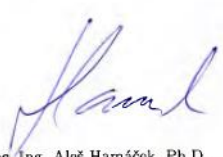
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **14. října 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2017**


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




Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2016

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na koncentrované fotovoltaické systémy. První část je teoretická a zabývá se obecnými vlastnostmi fotovoltaických panelů a jejich parametrů. Dále jsou uvedeny metody a postupy testování koncentrovaných fotovoltaických panelů a modulů. Druhá část je praktická, zde je popsána realizace vybraných metod a postupů z předchozí části.

Klíčová slova

FV – fotovoltaika, CPV – koncentrovaná fotovoltaika, fotovoltaický článek, fotovoltaický panel, koncentrovaný přijímač, koncentrovaný modul

Abstract

The bachelor thesis presents the concentrated photovoltaic systems. The first part is theoretical and describes the general characteristics of photovoltaic panels and their parameters. The second part is an introduction of the methods and procedures for testing concentrated photovoltaic panels and modules. The last part is the practical implementation of selected methods and procedures from the previous part of the bachelor thesis.

Key words

PV – photovoltaic, CPV – concentrated photovoltaic, photovoltaic cells, photovoltaic panels, concentrated receiver, concentrated modul

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 6.6.2017

Patrik Březina

Poděkování

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

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
1 FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY	13
1.1 PRINCIP FV ČLÁNKU	13
1.2 ZÁKLADNÍ TYPY FV ČLÁNKŮ.....	15
1.2.1 První generace.....	15
1.2.2 Druhá generace.....	15
1.2.3 Třetí generace.....	16
1.3 KONSTRUKCE A VÝROBA FV ČLÁNKŮ A PANELŮ	16
1.3.1 FV články.....	16
1.3.2 FV panely.....	18
1.4 KONCENTROVANÉ FV SYSTÉMY	18
2 ZÁKLADNÍ PARAMETRY FV PANELŮ	23
2.1 PARAMETRY ODEČTENÉ Z VA CHARAKTERISTIKY	23
2.2 PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ ÚČINNOST FV PANELU.....	25
3 METODY A POSTUPY TESTOVÁNÍ KONCENTROVANÝCH FV PANELŮ A MODULŮ... 27	27
3.1 VIZUÁLNÍ KONTROLA	29
3.2 MĚŘENÍ ELEKTRICKÉHO VÝKONU	30
3.2.1 „Side by side“ měření VA charakteristiky.....	30
3.2.2 Měření VA charakteristiky při zatemněném režimu.....	32
3.3 TEST ZEMNÍ CESTY.....	32
3.4 TEST IZOLACE ZA SUCHA	33
3.5 TEST IZOLACE ZA VLHKA	34
3.6 TEST TEPELNÝMI CYKLY	35
3.7 TEST VLHKÝM TEPEM.....	37
3.8 TEST PŘI VLHKU A MRAZU	37
3.9 TEST NÁRAZU KRUP	39
3.10 TEST POSTŘIKEM VODY	40
3.11 TEST BLOKOVACÍ DIODY	41
3.12 TEST ROBUSTNOSTI KONCOVEK	42
3.13 MECHANICKÝ ZÁTĚŽOVÝ TEST	44
3.14 TEST ODOLNOSTI PROTI VYCHÝLENÉMU PAPERSKU	45
3.15 TEST ODOLNOSTI PROTI ULTRAFIALOVÉMU ZÁŘENÍ	46
3.16 TEST ODOLNOSTI ZA VENKOVNÍCH PODMÍNEK	46
3.17 TEST ODOLNOSTI PROTI HORKÝM MÍSTŮM	47
4 REALIZACE VYBRANÝCH METOD A POSTUPŮ	48
4.1 VIZUÁLNÍ KONTROLA	48
4.2 MĚŘENÍ VA CHARAKTERISTIKY PŘI ZATEMNĚNÍ	48
4.3 TEST ZEMNÍ CESTY.....	51
4.4 TEST IZOLACE ZA SUCHA	51
4.5 TEST IZOLACE ZA VLHKA	52
4.6 TEST BLOKOVACÍ DIODY	52
ZÁVĚR	54
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	55

PŘÍLOHY 1

Úvod

V dnešní době kdy využití elektrické energie s přibývajícím nároky životního stylu stále stoupá, se dostávají do popředí alternativní zdroje energie, jelikož zdroje elektrické energie, které dnes využíváme nejvíce, jsou neobnovitelné a postupem času budou vyčerpány. Jedním z těchto alternativních zdrojů je fotovoltaika, jejíž základem je přímá přeměna energie slunečního záření na elektrickou energii. Snahou o vylepšení a snížení nákladů této technologie, je vývoj koncentrované fotovoltaiky, která funguje na principu koncentrování slunečního záření.

Tato bakalářská práce je zaměřena na koncentrované fotovoltaické systémy. První část práce pojednává o teorii fotovoltaických systémů, zde je popsána historie, funkce, výroba a rozdělení fotovoltaických článků a panelů. V této části je popsána i teorie koncentrovaných fotovoltaických systémů, které v dalších kapitolách této práce figurují. V další části jsou zmíněny základní parametry fotovoltaických panelů. V předposlední části jsou popsány postupy a metody testování koncentrovaných fotovoltaických panelů a modulů. U jednotlivých testů je uveden jejich účel a také jsou zde uvedeny požadavky pro úspěšnou klasifikaci testovaných panelů a modulů. Obecný účel těchto metod a postupů je posoudit vlastnosti testovaných částí CPV systémů a ukázat, zda jsou schopné provozu za určených podmínek. Poslední část je praktická a jsou zde realizovány vybrané postupy a metody z předchozí části. Zde jsou zejména uvedeny naměřené a vypočtené hodnoty jednotlivých měření a ověření, zda testovaná zařízení vyhovují požadavkům uvedeným v předchozí části.

Seznam symbolů a zkratek

Ac	Plocha fotovoltaického článku [m^2]
Al ₂ O ₃	Oxid hlinitý
AlN	Nitrid hliníku
CdTe	Telurid kademnatý
CIS	Dvojselenid mědi a india
CPV	Koncentrovaná fotovoltaika
DNI	Normální směr záření
E	Intenzita osvětlení [lx]
EEF	Účinnost fotovoltaického panelu [%]
eV	Elektron-Volt
EVA	Etylvinylacetát
FF	Fill Factor
FV	Fotovoltaika
GaAs	Gallium-Arsen
I _L	Proud generovaný světlem [A]
I _m	Maximální proud [A]
I _{mpp}	Proud při maximálním výkonu článku [A]
InP	Indium-Fosfor
I _{sc}	Zkratový proud [A]
MPP	Bod maximálního výkonu
n	Index lomu
η	Účinnost fotovoltaického článku [%]
PET	Polyetyléntereftalát
P _m	Maximální výkon testovaného vzorku [W]
P _{mc}	Maximální výkon kontrolního vzorku [W]
P _{mpp}	Maximální výkon [W]
P _{rad}	Výkon dopadajícího záření [W]
P _{rd}	Relativní pokles výkonu [W]
P _{rf}	Relativní výkon měřený po daném testu [W]
P _{ri}	Relativní výkon měřený před daným testem [W]
PVF	Polyvinylidenfluorid
R	Reflexivita

R_m	Vnitřní odpor článku [Ω]
R_{SO}	Sériový odpor [Ω]
U_0	Lineárně regresní konstanta
U_{OC}	Napětí naprázdno [V]
U_m	Maximální napětí [V]
U_{mpp}	Napětí při maximálním výkonu článku [V]

1 Fotovoltaické systémy

První zmínka o fotovoltaickém jevu je z roku 1839, kdy ho při svých experimentech objevil Alexandr Edmond Becquerel. V roce 1904 ho fyzikálně popsal Albert Einstein, za což mu mimo jiné byla později udělena Nobelova cena [1]. Roku 1916 pak další držitel této ceny Robert Milikan experimentálně potvrdil platnost principu fotovoltaického jevu. První fotovoltaický článek byl sestaven v roce 1884 Charlesem Frittsem, ale díky vysoké ceně a malé účinnosti se nijak neuplatnil ve výrobě elektřiny. Solární článek podobný tomu, který známe dnes, využívající přechodu P-N, vynalezl roku 1940 Russel Ohl. Dalšími objeviteli v tomto oboru byli Dryl Chapin, Calvin Fuller a Gerald Pearson, kteří roku 1954 sestavili fotovoltaický článek s účinností přes čtyři procenta. V roce 1960 byl vynalezen fotovoltaický článek, který už dosáhl účinnosti 14 %. [2,3]

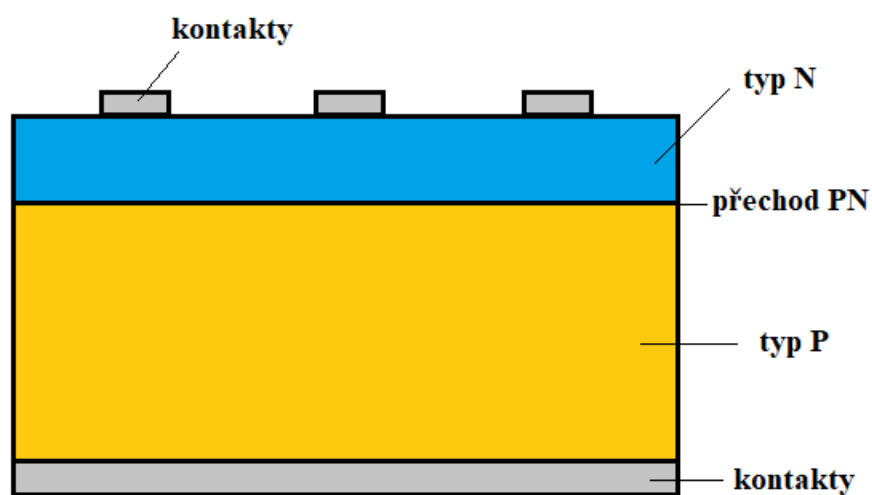
Základem fotovoltaických (dále už jen FV) systémů je FV článek, pro výrobu těchto článků je z řady důvodů vhodným materiálem křemík. Tento prvek je jeden z nejrozšířenějších na Zemi, je nejpoužívanějším prvkem v elektrotechnice, tudíž i jeho zpracování dosáhlo velmi vysoké úrovně. Různými metodami je dnes možno získat křemíkové krystaly velké čistoty 99,9 % tzv. ppm, která postačuje pro fotovoltaické účely a obsahuje nečistoty řádově 10^{-6} . [4,5]

Částice záření se nazývají fotony, energie fotonů závisí na vlnové délce, čím je kratší, tím větší energii fotony mají. Pro uvolnění elektronů z krystalové mřížky křemíku je potřeba, aby měly fotony energii alespoň 1,12 eV. Této energii odpovídá záření infračervené nebo záření viditelného světla. Záření s větší vlnovou délkou např. mikrovlny FV jev nevyvolají. [5]

1.1 Princip FV článku

K fotovoltaické přeměně dochází ve FV člancích, kde se energie dopadajících fotonů mění na energii elektrickou [5]. Tento článek je v podstatě polovodičová dioda o velké ploše, přechod PN je orientován kolmo k čelní ploše mezi přední a zadní stranou a může na něj dopadat světlo [4].

Z krystalického křemíku typu P je vytvořen plátek, na jehož spodní straně je vodivá stříbrná mřížka a na horní straně vrstvička polovodiče typu N s úzkými vodivými kontakty [6]. Polovodič typu N obsahuje více elektronů a polovodič typu P více děr. Při spojení vzniká PN přechod. Dochází v něm k rekombinaci elektronů a děr, přičemž zaniknou volné nosiče náboje v určité oblasti, která se nazývá vyprázdňená. Zbytek nepohyblivých nosičů vytváří elektrickou bariéru, která zabraňuje přechodu volných nosičů. Při připojení kladné polaritě zdroje na polovodič typu P a záporné na polovodič N se vyprázdňená oblast zmenšuje a přechodem protéká proud. V opačném případě se vyprázdňená oblast zvětšuje a obvodem proud neprochází. [5,7]



Obr. 1.1 Schéma polovodičového FV článku [5].

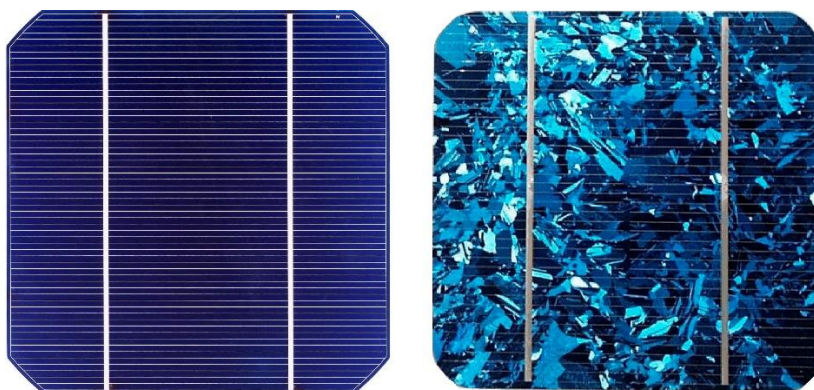
Při dopadajícím záření na FV článek, předávají fotony energii atomům v krystalové mřížce křemíku a uvolňují z ní elektrony. Jelikož je mezi oběma vrstvami bariera přechodu PN, která zamezuje pohybu elektronů z místa jejich přebytku do místa jejich nedostatku, tak se FV článek může stát zdrojem napětí. Kdyby tomu tak nebylo, docházelo by k rekombinaci. Elektrony uvolněné ve vrstvě typu N tedy nemohou přecházet do vrstvy typu P, ale opačně to lze. Tím dochází k nahromadění volných elektronů ve vrstvě N a vzniká mezi vrstvami elektrické napětí s velikostí okolo 0,6 V [7]. Při připojení spotřebiče dochází k vyrovnávání polarit nábojů a obvodem protéká elektrický proud. [5,6]

1.2 Základní typy FV článků

FV články se obvykle rozdělují do tří generací. První je doposud nejpoužívanější, ale z důvodu vysokých výrobních nákladů a zvýšení účinnosti, vývoj a výzkum směřuje k druhé a třetí generaci.

1.2.1 První generace

Základem jsou křemíkové desky s vytvořeným PN přechodem. Komerční prodej začal v sedmdesátých letech minulého století. Dnes je tato technologie nejrozšířenější a pravděpodobně to tak zůstane i dalších pár let. Je tomu tak i přestože je výroba relativně drahá z důvodu drahého vstupního materiálu, kterým je krystalický křemík. Vyznačuje se poměrně vysokou účinností fotovoltaiické přeměny, v sériové výrobě je to 16 až 19 % a speciální struktury mají účinnost až 24 %. [8,9]



Obr. 1.2 Monokrystalický a polykrystalický křemíkový FV článek [8, 11].

1.2.2 Druhá generace

Články druhé generace se začaly vyvíjet ve snaze nahrazení drahého křemíku jako základního materiálu, mají 100 - 1000x tenčí polovodičovou vrstvu označovanou také jako thin-film. Materiály pro tyto články jsou např. amorfni a mikrokrystalický křemík, silikon-germanium, silikon-karbid a tzv. CIS struktury, což jsou směsné polovodiče, kam patří měď, indium, gallium, síra a selen [9]. U těchto článků došlo ke snížení výrobních nákladů, ale účinnost v sériové výrobě dosahuje od 6 do 8 % [10]. U článků druhé generace lze zvolit

substrát, na který se tenkovrstvé struktury ukládají. Při použití flexibilních materiálů, např. organické, textilní nebo kovové fólie, se značně rozšíří možnost využití. [8]

1.2.3 Třetí generace

Většina článků třetí generace je zatím ve fázi vývoje, za nejpokročilejší lze považovat vícevrstvé a koncentrované [10]. Práce vícevrstevných článků je založena na principu vícevrstevných struktur, kde absorpce určitého části spektra probíhá v každé substruktuře, ostatní záření propouští do nižších vrstev a tím se energie fotonů využije nejvíce [9]. Vícevrstvé články mohou být dvojevrstvé, které se také označují jako tandemy a třívrstvé [8]. Tandemy dosahují účinnosti do 10 % a u špičkových komerčně využívaných třívrstevných článků se pohybuje účinnost okolo 30 % [10].

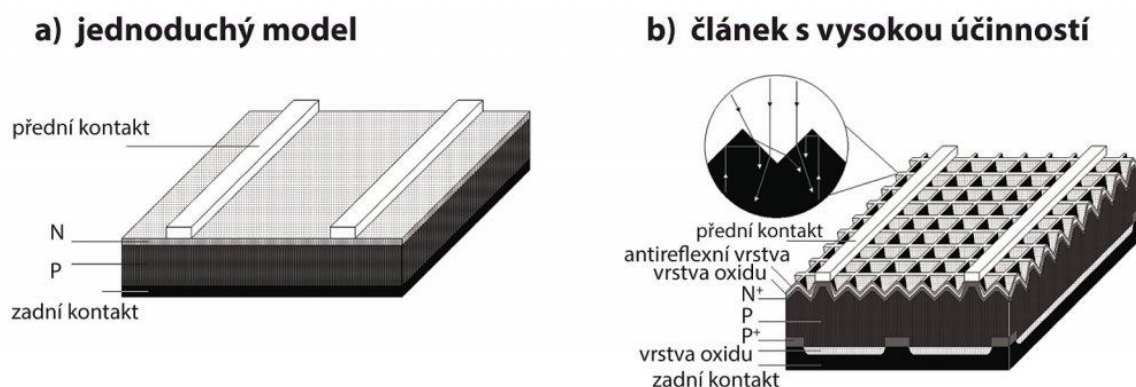
1.3 Konstrukce a výroba FV článků a panelů

Jak již bylo uvedeno v předchozích kapitolách, nejvíce jsou rozšířeny FV články na bázi křemíku (monokrystalické, polykrystalické i amorfni na bázi tenkých vrstev). V přírodě se tento prvek vyskytuje ve formě křemene neboli oxidu křemičitého. V této formě je mechanicky odolný a chemicky stabilní, drobná zrnka křemene tvoří křemenný písek. Z této formy se výrobními procesy vytvoří destičky, které jsou základem FV článků. [4,7]

1.3.1 FV články

K vytvoření přechodu PN se používají difúzní pece, ve kterých probíhá difúze příměsí donorů nebo akceptorů do polovodiče. Přední strana FV článku je z důvodu minimalizace odrazu a co největšího využití dopadajícího záření pokryta antireflexní úpravou. Kontakty článků jsou na přední a zadní straně, přičemž přední kontakt zakrývá co nejmenší plochu, z důvodu dopadu světla na co největší plochu článku, zadní kontakt pokrývá celou zadní stranu. Nanášení těchto kontaktů probíhá sítotiskem nebo vakuovými technologiemi, další možnost je vnoření kontaktů do materiálu polovodiče, čehož se využívá u speciálních článků s velkou koncentrací záření. [4,7]

Jednoduchý model FV článku, který je na *Obr. 1.3 a)*, vykazuje nižší účinnost, což je způsobeno hlavně kvůli rekombinačním ztrátám. Na *Obr. 1.3 b)* jsou zobrazeny konstrukční úpravy, které zvyšují účinnost článků. Minimalizace odrazu, tedy vniknutí co největšího množství fotonů do oblasti přechodu PN, je dosaženo antireflexní vrstvou na přední straně. Snadný vstup fotonů do FV článku je zajištěn malými jehly vyleptanými na přední straně. V detailu *Obr. 1.3 b)* je vidět, že fotony, které projdou a nezpůsobí FV přeměnu, se odrazí od zadního kontaktu, a díky struktuře přední strany článku, jsou odraženy zpět. Tím se zvýší pravděpodobnost FV přeměny, jelikož fotony znovu prochází PN přechodem. U oboustranných FV článků mohou fotony dopadat z obou stran zároveň, jelikož je struktura přední i zadní strany stejná, tím je dosaženo zvýšení množství vyrobené elektrické energie. Na zadní straně článku je ale účinnost FV přeměny nižší, protože fotony kratších vlnových délek nedorazí k přechodu PN, jelikož jsou pohlcovány už v silnější vrstvě polovodiče. [4,7]

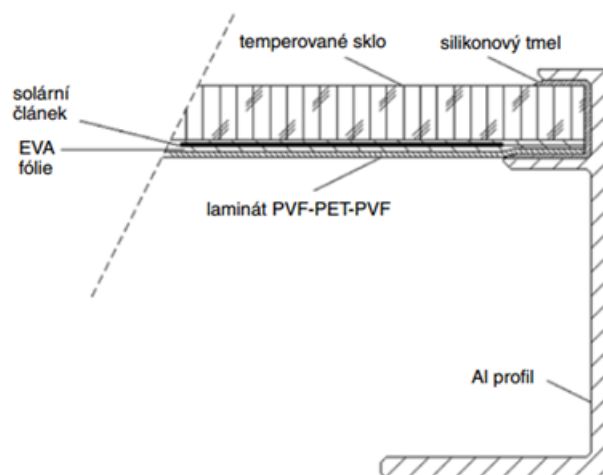


Obr. 1.3 Schéma křemíkového FV článku [7].

Účinnost nejkvalitnějších monokrystalických článků se pohybuje okolo 20 % a s vylepšením uvedeném výše dokonce 30 %. Účinnosti polykrystalických a amorfních článků jsou nižší z důvodu horších transportních vlastností. Účinnosti kolem 25 % dosahují články na bázi speciálních polovodičů, např. InP nebo také GaAs, který se používá u koncentrovaných FV panelů nebo v kosmických aplikacích, z důvodu odolnosti proti kosmickému záření a stabilnější účinnosti při růstu teplot, za kterých účinnost článků z jiných polovodičů výrazně klesá. Limitujícím faktorem je u těchto článků cena, díky níž lze tyto články používat jen ve speciálních případech. [4,7]

1.3.2 FV panely

FV panel je z přední strany osazen odolným temperovaným sklem, na které se umísťuje EVA fólie a na této vrstvě jsou potom FV články. Tyto články se zde skládají sérioparalelně, aby za určitého osvětlení produkovaly potřebné napětí a výkon, který je velikostně závislý nejvíce na ploše těchto článků, tudíž i na velikosti panelů. Jednotlivé kontakty FV článků jsou propojeny z obou stran kovovým páskem a na tomto propojení je znovu umístěna EVA fólie, přičemž tyto fólie se nanášejí ve vakuu při zahřátí nad teplotu tání. Následně se nanese do prostoru mezi přední sklo a zadní stěnou, která je tvořena laminátovou kompozicí PVF-PET-PVF. FV panely jsou pro vyšší odolnost, proti vodě a jiným nečistotám, orámovány a zatmeleny do hliníkových profilů. Životnost kvalitnějších panelů bývá 20 až 30 let při minimálním poklesu výkonu. U oboustranných FV panelů je rozdíl pouze v použití oboustranných FV článků a opatření zadní strany průhledným laminátem. [4,7]



Obr. 1.4 Řez konstrukcí FV panelu (převzato z [4]).

1.4 Koncentrované FV systémy

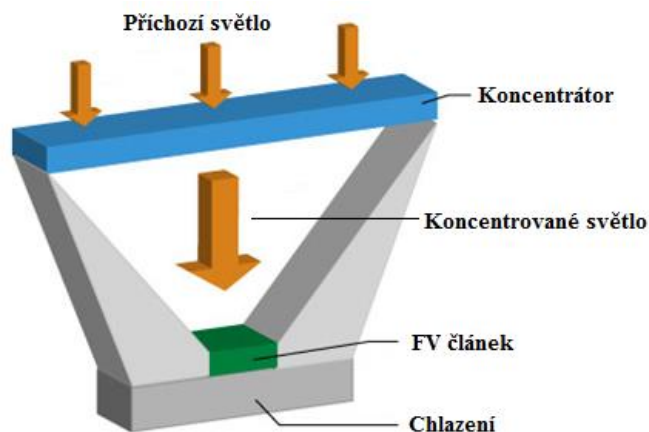
Koncentrování světla za použití čoček a zrcadel bylo známo již v dávných dobách, ale pouze jako prostředek ke generování tepla. Už Archimedes použil zrcadla a energii slunce k zapalování římských lodí. Na přelomu 19. století několik vynálezců a inženýrů použili teplo ze slunečních koncentrátorů při provozování parních strojů, k čerpání vody a později k výrobě elektrické energie pomocí rotačních strojů. S vynalezením moderní fotovoltaiky,

jejímž úkolem bylo zvýšit efektivitu a snížit náklady, kolem roku 1970 inženýři ukázali, že koncentrováním a zaostřením světla na solární článek, lze zvýšit jeho účinnost. [12] Samotná koncentrace slunečního záření na plochu polovodiče probíhá různými způsoby, přičemž nejpoužívanější jsou Fresnelovy čočky a parabolická zrcadla. Nejběžnější klasifikací CPV modulů je stupeň koncentrace, který je vyjádřen počtem „sluncí“. Například „3x“ znamená, že intenzita světla, která dopadá na fotovoltaický materiál je třikrát větší, než by tomu tak bylo bez koncentrování. V *Tab. 1.1* jsou zobrazeny určité parametry plynoucí z použití různých koncentrací. [13,14]

Oproti klasickým FV panelům dosahují CPV panely větší účinnosti a také jejího menšího poklesu při vysokých okolních teplotách, jsou tedy vhodné i pro použití v oblastech okolí rovníku, kde denní teplota dosahuje vysokých hodnot [13]. Další výhody této technologie plynou z koncentrování světla na malou oblast:

- Vyžaduje méně fotovoltaického materiálu k zachycení stejného slunečního záření jako jiné články [15].
- Umožňuje použití drahých, vysoce efektivních článků s více přechody, které jsou ekonomicky použitelné vzhledem k jejich malé velikosti [12].
- Optický systém obsahuje standartní materiály, vyrobené zavedenými postupy, v poměru s křemíkovými materiály použitými ve standartních člancích, je tedy cena podstatně nižší [14].

Nicméně CPV systémy vyžadují přímé sluneční záření, nikoliv rozptýlené světlo. Tím je použití této technologie limitováno na slunečné oblasti, kde se na obloze vyskytuje minimum mračen. To také znamená, že CPV systém musí obsahovat sledovač slunce, který zajišťuje kolmý dopad záření. [12,14]



Obr. 1.2 Obecné schéma CPV systému [14].

Většina koncentrovaných systémů vyžaduje chlazení, to se rozděluje na pasivní a aktivní. U pasivního chlazení se článek umísťuje na substrát s pokovenou vrstvou, která může být pokovena dvěma technologiemi. První je Direct Bonded Copper (DBC), kde se z jedné nebo obou stran umístí plátek mědi pomocí vysokoteplotní oxidace. Druhá technologie se nazývá Thick Printed Copper (TPC), substrát je zde vyroben z AlN nebo Al₂O₃. Vrstva mědi je na něj z jedné nebo obou stran vícenásobně tištěna sítotiskem, dále vypalována v dusíkové atmosféře s určitou malou koncentrací kyslíku a teplotě kolem 900 °C. Oproti předchozí technologii může mít tato vrstva v jakékoliv části vodivého motivu různou tloušťku (do 300 μm). [14]

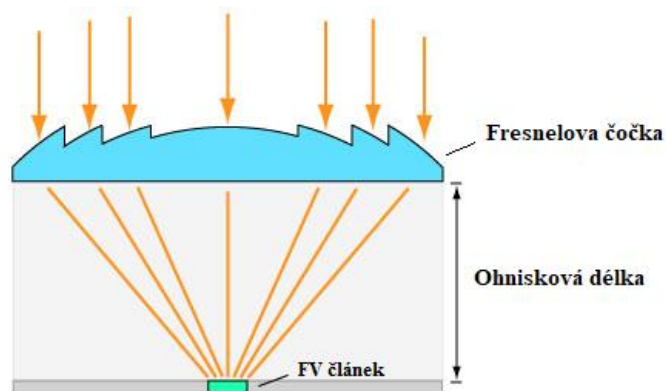
Tab. 1.1: Rozdělení CPV systémů podle koncentrace [14].

	Malá koncentrace	Střední koncentrace	Vysoká koncentrace
Stupeň koncentrace	2–10	10–100	> 100
Sledovač	Není zapotřebí	S 1 osou	S 2 osami
Chlazení	Není zapotřebí	Pasivní	Aktivní
FV materiál	Křemík	Křemík, CdTe, atd.	Více přechodové články

- **Fresnelovy čočky**

Tato technologie se skládá z několika sekcí s různými úhly, čímž je snížena hmotnost a tloušťka ve srovnání se standardními čočkami. S Fresnelovými čočkami je možné dosáhnout krátké ohniskové délky při zachování velikosti čočky. Mohou být konstruovány ve tvaru kruhu, čímž je zajištěno bodového zaostření s koncentrací kolem 500, nebo ve tvaru válce, který poskytuje liniové zaostření s nižšími hodnotami koncentrace. Díky vysoké

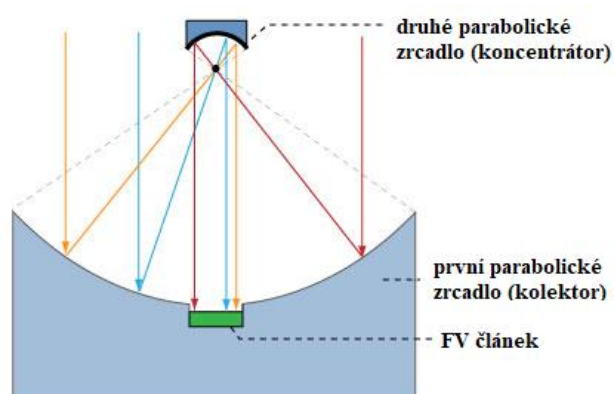
hodnotě koncentrace v bodě zaostření Fresnelovy čočky, lze použít více přechodové FV články s maximální účinností. U liniových konstrukcí se spíše používá vysoce kvalitní křemík. [12,14]



Obr. 1.3 CPV systém s Fresnelovou čočkou [14].

- **Parabolická zrcadla**

V této technologii je příchozí paralelní světlo odráženo kolektorem (první zrcadlo), přes ohniskový bod do druhého zrcadla, které je mnohem menší a má stejné ohnisko. Dochází zde k odrazu světelných paprsků do středu prvního parabolického zrcadla, kde narazí na FV článek. Výhodou této konfigurace je to, že zde nejsou používány žádné optické čočky, nicméně na obou zrcadlech vznikají ztráty. Tato technologie, použitá společností SolFocus, dosáhla s dvouosým sledovačem hodnoty koncentrace 500. [14,16]

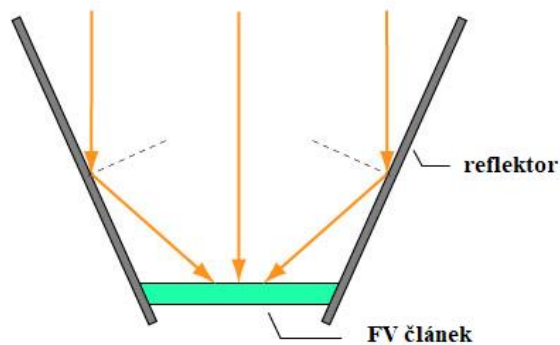


Obr. 1.4 CPV systém s parabolickými zrcadly [14].

- **Reflektory**

U této technologie, kde se nedosahuje vysokých hodnot koncentrace, se používají zrcadla ke koncentrování slunečního světla na FV článek. Často jsou tato zrcadla vyrobena

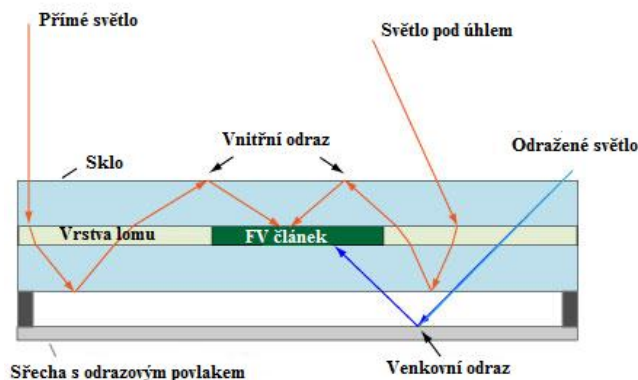
z kovu pokrytého křemíkem. Tato technika snižuje ztráty způsobené odrazem, a to efektivním použitím druhého vnitřního zrcadla. Hodnoty koncentrací dosahují velikosti 1,5 až 2,5. U tohoto systému jsou články obvykle vyrobeny z monokrystalického křemíku a chlazení není zapotřebí. [14]



Obr. 1.5 Reflektorový CPV systém [14].

- **Luminiscenční koncentrátory**

V luminiscenčních koncentrátorech dochází k lomu světla v luminiscenční vrstvě, a poté k nasměrování záření na FV článek. Tato technologie nevyžaduje žádné optické čočky ani zrcadla, a proto se stává velmi perspektivní. Kromě toho pracuje i s rozptýleným světlem, a tudíž nepotřebuje sledovač. Koncentrační hodnota je okolo 3. Probíhají různé vývoje tohoto způsobu získávání elektrické energie, například společnost Covalent používá organické materiály pro vrstvu, kde dochází k lomu světla, zatímco PrismSolar používá holografické vrstvy. Kromě toho tento koncentrátor nepotřebuje žádné chlazení, protože luminiscenční vrstva je konstruována tak, že vlnové délky, které nemohou být absorbovány FV článkem, jenom projdou skrz něj. [14,17]



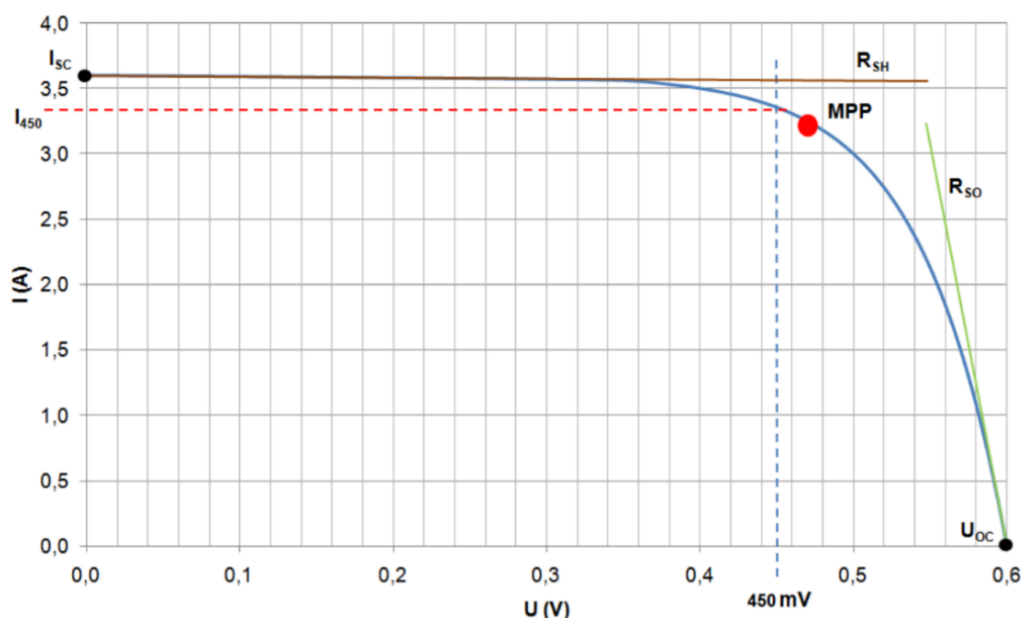
Obr. 1.6 Luminiscenční CPV systém [14].

2 Základní parametry FV panelů

Základní parametry FV panelů jsou rozděleny na ty, které se dají určit z VA charakteristiky a parametry ovlivňující účinnost FV panelů.

2.1 Parametry odečtené z VA charakteristiky

VA charakteristika fotovoltaických panelů zobrazuje závislost proudu na napětí a lze z ní vyčíst některé základní veličiny panelu [18]. Čtvrtý kvadrant této charakteristiky je zobrazen na Obr. 2.1.



Obr 2.1 VA charakteristika s vyznačenými základními veličinami (převzato z [18])

- **Zkratový proud**

Označuje se I_{SC} a je to maximální proud při daném osvětlení a napětí rovném nule. Rovná se proudu generovanému světlem $I_{SC} = I_L$, a to za předpokladu, že sériový odpor R_{SO} je roven nule. Závisí na intenzitě osvětlení, spektrální citlivosti, ozářené ploše a teplotě. Velikost se pohybuje od desítek mA do jednotek A. [18]

- **Napětí naprázdno**

Napětí naprázdno U_{oc} je dáno největším napětím na výstupních svorkách fotovoltaického panelu, při nulovém proudu a bez připojené zátěže, také při dané teplotě a intenzitě osvětlení. Velikost napětí naprázdno se pohybuje ve stovkách mV. [18]

- **Pracovní bod**

Je to bod na VA charakteristice označující momentální práci FV článku. Poloha by měla být shodná s polohou bodu s maximálním výkonem *MPP* (Maximum Power Point) a je závislá na vlastnostech spotřebiče. Při umístění pracovního bodu v bodě zkratového proudu nebo napětí naprázdno, nemá FV panel žádný výkon. Pracovní bod je velmi závislý na teplotě. Při zhoršených chladících podmínkách (bezvětrí), teplotě vzduchu dosahující až 40 °C nebo při delší době dopadu slunečního záření s vysokou intenzitou, dochází ke zvýšení povrchové teploty panelu až na 80 °C, což má za následek změnu elektrických vlastností panelu. Tato změna vyvolá snížení napětí na zatěžovací charakteristice, a to vede k poklesu dodávaného výkonu do zátěže. Tento jev může zapříčinit pokles dosažitelné denní výroby článku až o 75 %. Při předpokladu tohoto jevu můžeme použít optimalizační zařízení, které vykompenzuje tuto ztrátu. [18]

- **Bod maximálního výkonu MPP (Maximum Power Point)**

Je dán proudovou a napěťovou souřadnicí na VA charakteristice, kde U_{mpp} je napětí a I_{mpp} proud, při kterém fotovoltaický článek dodává maximální výkon [18].

- **Maximální výkon**

Maximální výkon P_{mpp} je hodnota výkonu, kterou je schopen panel dodávat. Nachází se přibližně ve středu ohybu voltampérové charakteristiky a jeho hodnota je dána vynásobením napětí a proudu v bodě maximálního výkonu panelu. Sledovač maximálního pracovního bodu přizpůsobuje parametry zátěže tak, aby článek dodával neustále co nejvyšší výkon. [18]

- **Fill Factor**

Velikost Fill Factoru FF je určena kvalitou kontaktů, morfologií materiálu a odporem aktivní polovodivé vrstvy. Je nazýván také činitelem plnění, čím je jeho hodnota vyšší, tím

větší výkon je schopen FV panel do zátěže dodat, vztah pro jeho výpočet lze vyjádřit vztahem [18]:

$$FF = \frac{P_{mpp}}{U_{oc} \cdot I_{sc}} = \frac{U_{mpp} \cdot I_{mpp}}{U_{oc} \cdot I_{sc}} = \eta_{ef} \quad (1) \text{ převzato z [18]}$$

- **Účinnost fotovoltaického panelu**

Účinnost fotovoltaického panelu EEF je dána vlastnostmi materiálů, ze kterých je FV článek a panel vyroben. Materiál ovlivňuje spektrální citlivost článku na dopadající záření, což znamená, že článek panelu využívá energii různých vlnových délek s různou účinností. Hodnoty účinností jsou uvedeny v předchozích kapitolách a výpočet se provádí pomocí vztahu [18]:

$$\eta = \frac{P_{mpp}}{P_{rad}} = \frac{P_{mpp}}{E} \cdot Ac \quad (2) \text{ převzato z [18]}$$

kde: P_{rad} je výkon dopadajícího záření,

E je intenzita osvětlení při standardizovaných zkušebních podmínkách,

Ac je plocha fotovoltaického článku. [18]

2.2 Parametry ovlivňující účinnost FV panelu

Tyto veličiny ovlivňují jeden z nejdůležitějších parametrů FV panelů, který udává procentní schopnost článku převést sluneční energii na elektrickou a vědci z celého oboru se jej snaží maximalizovat.

- **Vnitřní odpor**

Na vnitřním odporu článku R_m dochází k nežádoucímu úbytku napětí. Tento odpor je, při maximálním výkonu, dán poměrem maximálního napětí U_m a proudu I_m [18].

- **Reflexivita**

Tento parametr s označením R je odvozen z indexu lomu n polovodiče podle vztahu:

$$R = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2 \quad (3) \text{ převzato z [18]}$$

- **Sériový a paralelní odpor**

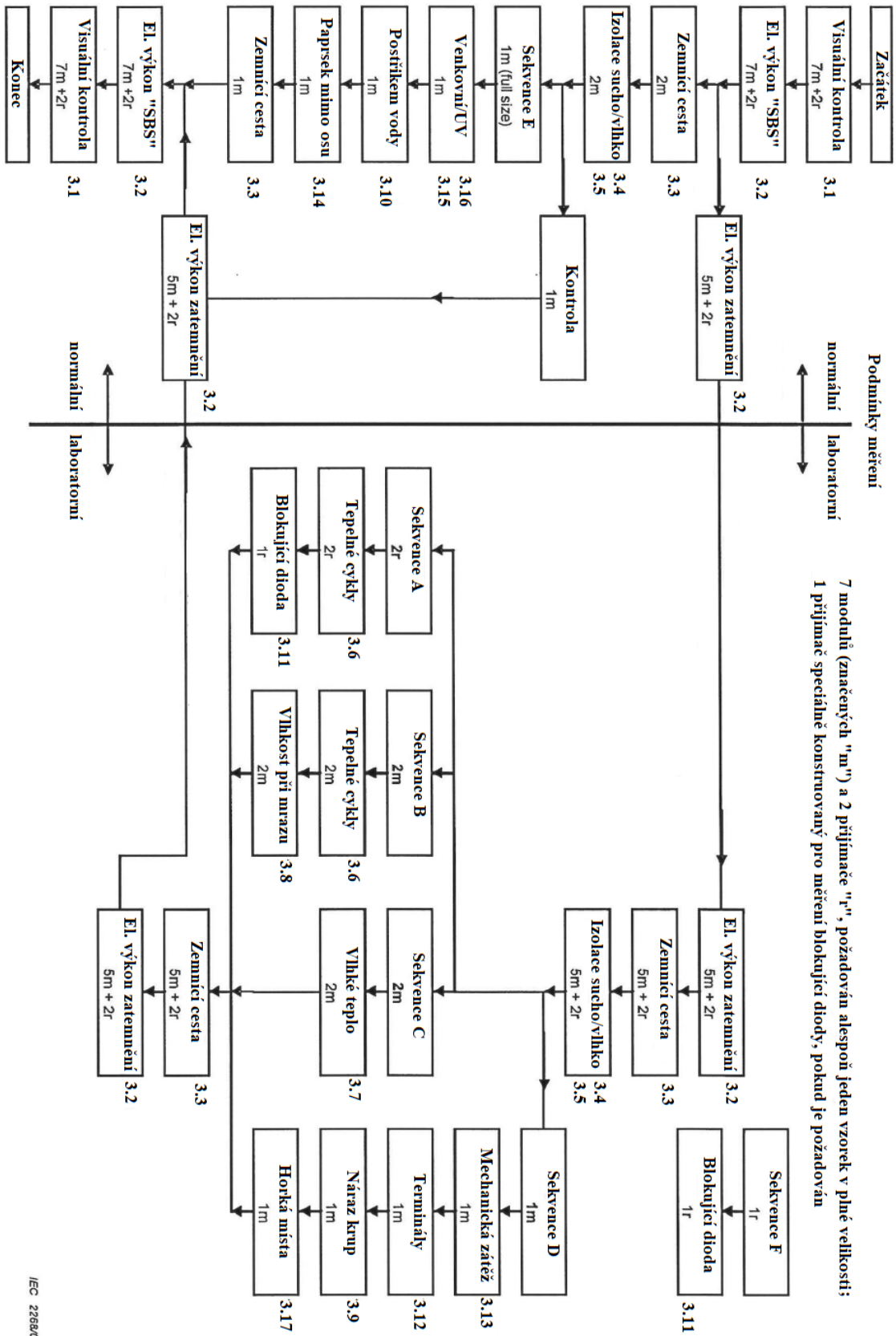
Tyto odpory udávají kvalitu FV panelu. Sériový je odvozen z odporů materiálu polovodiče, kontaktů a propojení. Při vysoké hodnotě tohoto odporu dochází k jeho úbytku napětí a v důsledku toho i k úbytku napětí na svorkách panelu. Paralelní odpor může být způsobený rozsáhlými defekty krystalické mřížky, nebo svodovým proudem kolem okrajů článku. Nízká hodnota tohoto odporu ukazuje na vadný článek, který se chová jako by byl uvnitř zkratován. [18]

3 Metody a postupy testování koncentrovaných FV panelů a modulů

Informace obsažené v těchto metodách a postupech jsou čerpány z ČSN EN 62108 s názvem „Koncentrátor fotovoltaických (CPV) modulů a sestav - Posouzení způsobilosti konstrukce a schválení typu“.

Pro každé měření je použit určitý počet vzorků z celkového množství 7 modulů, 2 přijímačů a jednoho speciálního přijímače pro měření blokovací diody. Seznam testů a požadovaný počet vzorků pro jejich provedení, je uveden zde:

- Vizuální kontrola – všechny vzorky
- Měření elektrického výkonu – všechny vzorky
 - „Side by side“ měření VA charakteristiky – všechny vzorky
 - Měření VA charakteristiky při zatemněném režimu – 5 modulů a 2 přijímače
- Test zemnicí cesty – všechny vzorky
- Test izolace za sucha – všechny vzorky
- Test izolace za vlhka – všechny vzorky
- Test tepelnými cykly – 2 přijímače
- Test vlhkým teplem – 2 moduly
- Test odolnosti vlhku a mrazu – 2 moduly
- Test nárazu krup – 1 modul
- Test postřikem vody – 1 modul
- Test blokovací diody – 1 přijímač
- Test robustnosti koncovek – 1 modul
- Mechanický zátěžový test – 1 modul
- Test odolnosti proti vychýlenému paprsku – 1 modul
- Test odolnosti proti ultrafialovému záření – 1 modul
- Test odolnosti za venkovních podmínek – 1 modul
- Test odolnosti proti horkým místům – 1 modul



Obr. 3.1 Měřicí sekvence pro CPV moduly [20].

3.1 Vizuální kontrola

Při této kontrole se zjistí fyzické závady vzorku a to před a po provedení požadovaných testů. Jakákoliv poškozená součástka, která by mohla zapříčinit selhání během následujících testů, by neměla být schválena. Nový vzorek tedy může být nahrazen před začátkem testování.

- **Postup**

Všechny testované vzorky musí být důkladně kontrolovány a v případě nutnosti foceny. Všechny závady nebo abnormálnosti (zahrnující původní defekty související s kvalitou pájených spojů, jako jsou nedostatečné nebo nadměrné množství pájky, kuličky pájky nebo ohnuté spoje a vychýlené části) by měly být zaznamenány pomocí nákresů nebo fotek. Komponenty jako čočky, zrcadla, sekundární optické elementy a zapouzdření by měli být také kontrolovány pro:

- a) výskyt bublin, delaminaci nebo jakékoliv podobné vady na čípech a kolem jejich okrajů;
- b) poškození způsobené přepravou a manipulací (prasklé čočky, prasklé nebo ohnuté kryty a ohnuté terminály nebo držáky);
- c) těsnění kolem čoček a okrajů spojů, přičemž by jakékoliv trhliny nebo mezery v těsnících materiálech měly být zaznamenány;
- d) ucpaní ventilačních nebo odvzdušňovacích otvorů;
- e) uzemnění všech dostupných vodivých částí;
- f) zlomené, prasklé, ohnuté, nevyrovnané nebo roztrhlé vnější povrchy;
- g) vadné propojení nebo spoje;
- h) viditelné koroze vývodů, propojení a svorkovnic;
- i) vady lepených spojů;
- j) nekvalitní vrstvy z plastových materiálů;
- k) poškozené vývody;
- l) jakékoliv další vady, které mohou ovlivnit spolehlivost nebo výkon.

- **Hlavní vizuální defekty**

Pro účely designových kvalifikací a schválení jsou za hlavní vady považovány:

- a) zlomené, prasklé, ohnuté, zakřivené nebo roztržené vnější povrchy včetně čoček, zrcadel, těla přijímače, rámu a propojovací krabice;
- b) rozbité nebo popraskané čipy;
- c) bubliny nebo delaminace tvořící souvislou cestu mezi jakoukoliv částí elektrického obvodu a okrajem přijímače;
- d) viditelné koroze jakéhokoliv aktivního obvodu vzorku;
- e) vady lepených spojů a těsnění;
- f) ztráta mechanické integrity do té míry, že by mohla být narušena instalace nebo provoz modulů nebo sestavy;

- **Požadavky**

Žádné hlavní vizuální defekty. [20]

3.2 Měření elektrického výkonu

Účel tohoto měření je zjistit výkonnostní pokles vzorků po provedení požadovaných testů. Nejdůležitějším faktorem je opakovatelnost měření.

3.2.1 „Side by side“ měření VA charakteristiky

Při tomto měření se odhalí pokles výkonu testovaného vzorku, porovnáním relativních výkonů před a po zátěžovém testu. Relativní výkon je poměr maximálního výstupního výkonu testovaného a kontrolního vzorku, které jsou měřeny za stejných podmínek.

Předpoklad pro měření:

- Zanedbatelné změny výkonů kontrolních vzorků v průběhu celého testu.
- Instalování přijímačů za pomoci vhodného optického a mechanického systému.
- Koncentrované světlo a tepelné podmínky stejné jako v reálu.

- **Postup**

a) Podmínky provedení:

- jasná obloha, DNI větší než 700 W/m^2 a změna menší než 2 % v jakémkoliv pětiminutovém intervalu;

- rychlost větru menší než 6 m/s a žádný poryv větru rychlejší než 10 m/s do 10 minut před měřením.
- b) Namontujte testovaný a kontrolní vzorek vedle sebe na dvouosý sledovač. Měřený a kontrolní vzorek mohou být rovněž měřeny separátně na dvou sledovačích.
- c) Sledování dopadu záření by mělo respektovat specifikace výrobce, jestli nejsou dostupné, měl by se použít maximální proud I_{SC} modulu jako indikátor. Vychýlení by nemělo způsobit snížení I_{SC} o více než 2 % z maximální hodnoty.
- d) Na vzorcích by se měla měřit teplota každou minutu a změna teploty by neměla být větší než 2 °C.
- e) Při použití chlazení monitorujte průchod chladicí kapaliny a změnu teploty. Průtok kapaliny by se neměl měnit o více než 2 % a změna teploty by v pětiminutových intervalech neměla přesáhnout 1 °C.
- f) Zjistěte maximální výstupní výkon vzorků změřením jejich VA charakteristik. Měření proveďte rychle, aby změna výstupního výkonu, v důsledku slunečního záření, okolní teploty a změny rychlosti větru, nebyla větší než 2 %.
- g) Spočítejte relativní výkon vzorku podle vztahu:

$$P_r = \frac{P_m}{P_{mc}} \cdot 100 \% \quad (4) \text{ převzato z [20]}$$

kde: P_m je maximální výkon testovaného vzorku,
 P_{mc} je maximální výkon kontrolního vzorku měřený za stejných podmínek jako P_m .

- **Požadavky**

- a) Měření veličin P_m , I_{sc} a U_{oc} přesně a opakovaně;
- b) Relativní pokles výkonu menší než 13 %. Výpočet se provede podle vztahu:

$$P_{rd} = \frac{(P_{ri} - P_{rf})}{P_{ri}} \cdot 100 \% \quad (5) \text{ převzato z [20]}$$

kde: P_{ri} je relativní výkon měřený před daným testem,
 P_{rf} je relativní výkon měřený po daném testu. [20]

3.2.2 Měření VA charakteristiky při zatemněném režimu

Při tomto měření se porovnává sériový odpor vzorku, měřený před a po jednotlivých testech. Při pokročilých zátěžových testech jde o nízkonákladovou metodu ke sledování a diagnostiku poklesu výkonu testovaných modulů, nebo ke sledování stability elektrického výkonu kontrolních vzorků.

- **Postup**

- a) Připravte si napájecí zdroj, který dokáže generovat proud hodnoty 1,6násobku I_{SC} .
- b) Propojte kladnou svorku zdroje a vzorku mezi sebou, u záporných proveďte totéž.
- c) Zatemněte čipy, např. zakrytím nebo otočením vzorku, aby měřené napětí nepřesahovalo 5 % U_{OC} .
- d) Přiveďte do vzorku alespoň 10 odlišných proudů v rozsahu od 0,9 do 1,6násobku I_{SC} a zaznamenejte všechny hodnoty proudu, napětí a teploty čipu.
- e) Zakreslete hodnoty proudu a napětí do grafu, s napětím na vertikální ose a proudem na horizontální, dále proveďte lineární regresi v oblasti lineární části křivky:

$$U = R \cdot I + U_0, \quad (6) \text{ převzato z [20]}$$

kde: R je sériový odpor modulu,
 U_0 je lineární regresní konstanta.

- **Požadavky**

- a) Toto měření není určeno jako hodnotící kritérium pro kvalifikaci vzorku, ale jako nízkonákladová metoda pro identifikaci zhoršení vzorku po jednotlivých testech.
- b) Výsledky „side by side“ měření VA charakteristiky jsou kritériem pro kvalifikaci. [20]

3.3 Test zemnicí cesty

V některých zemích nebo regionech není požadován systém uzemnění, zde tedy tento test není nutný. Účel tohoto testu je ověřit elektrické propojení mezi nechráněnými vodivými částmi a uzemněným bodem pod vysokým proudem.

- **Postup**

- a) Připravte si ohmmetr a napájecí zdroj, jehož stejnosměrné napětí by mělo být, z důvodu bezpečnosti personálu, omezeno na 10 V.
- b) Přiveďte proud do vzorku a změřte odpor mezi uzemněným bodem a jakoukoliv přístupnou vodivou částí. Jestliže výrobce vzorku neposkytl kontaktní místa pro tento test, tak by se měl vytvořit vhodný kontakt na vzorku odstraněním malé plochy povlaku.
- c) Použijte proud rovný dvojnásobku I_{sc} mezi uzemněným terminálem a kontaktem. Měřte napětí uvnitř každého bodu s velikostí 1,3 cm při přivedeném proudu.
- d) Zaznamenejte proud a napětí po ustálení hodnot.
- e) Pokud je potřeba více než jeden test k ověření všech vodivostních cest, a teplota se při testu výrazně zvýšila, vyčkejte před začátkem dalšího testu, aby došlo k dostatečnému vychladnutí vzorku.
- f) Na konci tohoto testu by měl být testovaný vzorek podroben zkoušce izolace dle 3.4.

- **Požadavky**

- a) Odpor by měl být menší než 0,1 Ω .
- b) Poškození by nemělo vznikat ve spojích mezi neizolovanými vodivými částmi. [20]

3.4 Test izolace za sucha

Účel tohoto měření je zjistit, zda je CPV systém dostatečně izolován mezi všemi aktivními částmi obvodu generující výkon, a kostrou nebo venkovním prostředím.

- **Postup**

- a) Obstarejte si izolační tester, který má následující funkce:
 - napájecí stejnosměrný proud omezen na 10 mA;
 - stejnosměrné napětí 1000 V;
 - proud v μA hodnotách.
- b) Test by měl být prováděn na vzorcích při okolní teplotě $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkosti nepřesahující 75 %.

- c) Konstrukce s chlazením pomocí chladicího media, by ho měly používat během testu, ale oběh není vyžadován.
- d) Plocha vzorku článku by měla být zakryta a vzorek by neměl být připojen k aktivnímu elektrickému zdroji.
- e) Připojte zkratované svorky vzorku ke kladné svorce testovacího přístroje.
- f) Připojte odkryté kovové části vzorku na zápornou svorku měřícího přístroje. Jestliže vzorek nemá vodivou kostru nebo je špatně elektricky vodivá, obalte vzorek kovovou deskou nebo fólií.
- g) Zvyšte napětí na hodnotu 1000 V.
- h) Udržujte napětí na této úrovni, po dosažení ustálené hodnoty proudu vyčkejte 2 minuty.
- i) Pozorujte, zda jsou přítomny jakékoliv známky po dielektrickém průrazu.
- j) Snižte napětí na 500 V a po dosažení ustáleného proudu jej udržujte 2 minuty.
- k) Zaznamenejte přivedené hodnoty veličin a vypočítejte z nich izolační odpor.

- **Požadavky**

- a) Žádné dielektrické průrazy nebo vznik bublin.
- b) U vzorků s velikostí plochy přijímače, která je menší nebo rovna $0,1 \text{ m}^2$, by její izolační odpor neměl být menší než $50 \text{ M}\Omega$. U plochy větší než $0,1 \text{ m}^2$ by tento odpor neměl být menší než $5 \text{ M}\Omega/\text{m}^2$.
- c) Obecně by vzorky měly mít celkový izolační odpor větší než $1 \text{ M}\Omega$ a při použití dvojité izolace větší než $10 \text{ M}\Omega$. [20]

3.5 Test izolace za vlhka

Účelem tohoto testu je posoudit, zda je izolace vzorků odolná při vlhkých podmínkách. Dále ověřit, že vlhkost z deště, rosy nebo roztátého sněhu nevstupuje do aktivních částí obvodu vzorku, což by mohlo vést ke korozi nebo dalším bezpečnostním rizikům.

- **Postup**

Stejný jako v předchozím měření, liší se jen v těchto bodech:

- a) Připravte si tekutý nekorodující prostředek ve zkušební nádobě. Při měření za teploty $22 \text{ }^\circ\text{C} \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ by rezistivita neměla být větší než $3 \cdot 500 \text{ }\Omega \cdot \text{cm}$.

- b) Umístěte zápornou svorku přístroje do kapalného roztoku.
- c) Ponořte vzorek do roztoku nebo použijte sprej k nanesení roztoku na vzorek a nechejte ho tam po dobu nejméně 5 minut. Připojovací skříňky, vývody, kabely, neizolované svorky nebo ostatní konektory, které nelze ponořit, mohou být umístěny nad úrovní roztoku, ale musí být důkladně vlhčeny postříkem.
- d) Oproti předchozímu testu měřte jen při 500 V.

- **Požadavky**

Stejně jako u přechozího měření. [20]

3.6 Test tepelnými cykly

Účelem je určit schopnost přijímačů, odolávat tepelným výkyvům, únavě materiálu a dalšímu namáhání způsobeném rychlou, nerovnoměrnou nebo opakovanou změnou teploty.

- **Testovaný vzorek**

Jestliže se vzorek v plné velikosti nevejde do klimatické komory nebo je příliš drahý, může být pro tento test speciálně navržen a vyroben menší vzorek. Návrh a výrobní proces by měly odpovídat původnímu vzorku. Aspekty výroby a návrhu jsou:

- Stejně části, používané u většího vzorku, mohou být odstraněny, ale pokud je to možné, zkuste použít alespoň dvě z těchto částí.
- Ostatní části, jako jsou připojovací konce čipů, elektrické a mechanické spoje, senzory a blokovací diody, by měly být umístěny ve vzorku.

- **Postup**

Možnosti odpovídající použitým materiálům jsou uvedeny v *Tab. 3.2*. Test by měl být proveden venku bez přítomnosti vlhkosti nebo v jednokomorovém či dvoukomorovém systému. Vzorek by zde měl být umístěn alespoň 10 minut při nejnižší a nejvyšší požadované teplotě s tolerancí ± 3 °C. Za den by se mělo uskutečnit 10 až 18 měření.

Možnosti přivedení proudu:

- a) Použijte externí zdroj stejnosměrného napětí pro zajištění požadovaného průchodu proudu v záporném směru, přičemž by vzorek měl být zatemněn a jeho blokovací diody zkratovány.

- b) Zajistěte takovou intenzitu osvětlení, aby vzorek generoval požadovaný proud v kladném směru.
- c) Zajistěte částečnou intenzitu osvětlení, v kombinaci s externím zdrojem stejnosměrného napětí, pro generování požadovaného proudu v kladném směru.

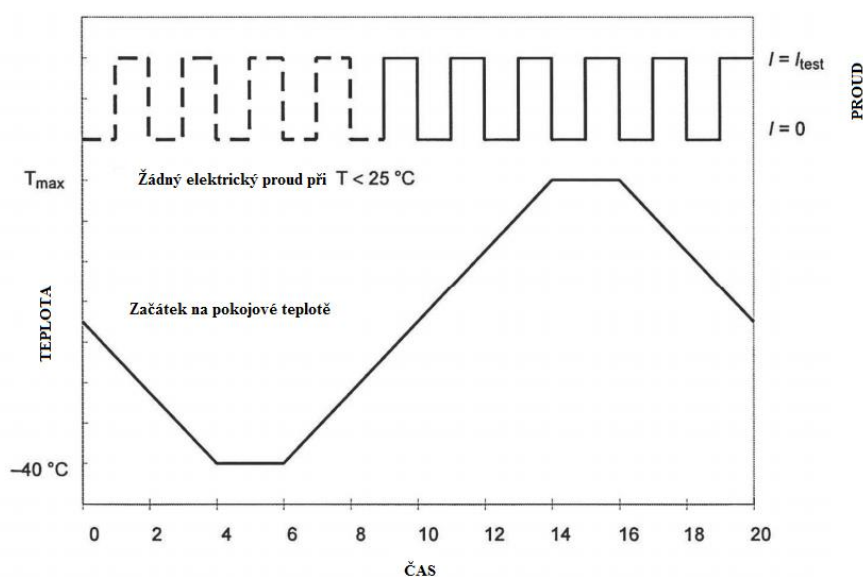
Rychlost cyklování proudu by měla být 10 cyklů v jednom tepelném cyklu. Pokud je teplota čipu nižší než 25 °C, proud by neměl být přiváděn (viz Obr. 3.2). Obvod vzorku by měl být nepřetržitě sledován a nahráván. Po tomto testu by vzorky měly být podrobeny vizuální kontrole a testu elektrické izolace za sucha.

Tab. 3.1 Možnosti testu tepelnými cykly pro sekvenci A [20].

Možnosti	Maximální teplota buňky [°C]	Celkový počet cyklů	Použitý proud
TCA-1	85	1000	Použijte 1,25násobek I_{SC} při $T > 25^\circ\text{C}$. Rychlost cyklování 10 elektrických/tepelných.
TCA-2	110	500	
TCA-3	65	2000	

• Požadavky

- a) Žádné známky po hlavních vizuálních poškozeních uvedených v 3.1.2.
- b) Žádné přerušení toku proudu v průběhu zkoušky.
- c) Odpor izolace by měl podléhat stejným požadavkům uvedeným v 3.4. [20]



Obr. 3.2 Teplota a proud při testu tepelnými cykly [20].

3.7 Test vlhkým teplem

Účel této zkoušky je stanovení schopnosti vzorků odolat dlouhodobému pronikání vlhkosti.

- **Testovaný vzorek**

Požadavky na testovaný vzorek jsou stejné jako u předchozího měření, liší se jen v jednom aspektu při návrhu a výrobě:

- Zachovejte stejnou izolační vzdálenost kolem okrajů jako u vzorků v plné velikosti.

- **Postup**

- a) Testovaný vzorek by měl být podroben zkoušce v klimatické komoře, ve které by měla být udržována relativní vlhkost na $85 \% \pm 5 \%$ a teplota na $85 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ po dobu 1000 hodin. Zkouška může pokračovat po dobu dalších 60 hodin, aby umožnila test izolace, který má být proveden v kroku c).
- b) Pokud nejsou některé komponenty vhodné pro test v $85 \text{ }^\circ\text{C}$, tak druhou možností je test při udržování teploty nepřesahující $65 \text{ }^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti menší než 85% po dobu 2000 hodin.
- c) Na konci testu, během 2 až 4 hodin po vyjmutí z klimatické komory, by měly být testované vzorky podrobeny vizuální kontrole a testu elektrické izolace za sucha i vlhka.

- **Požadavky**

- a) Žádné známky po hlavních vizuálních poškozeních uvedených v 3.1.2.
- b) Odpor izolace by měl podléhat stejným požadavkům jako v kapitole 3.4. a 3.5. [20]

3.8 Test odolnosti vlhku a mrazu

Účelem této zkoušky je stanovit schopnost vzorků, odolat vysoké teplotě a vlhkosti, doprovázenými nízkými teplotami. Nejedná se však o zkoušku prudkou změnou teploty.

- **Testovaný vzorek**

Požadavky na testované vzorky jsou stejné jako u předchozího měření, není však potřeba splnit aspekty na návrh a výrobu. Testované vzorky mají shodný profil teploty/vlhkosti viz *Obr. 3.3*.

- **Postup**

Testované vzorky by měly být podrobeny testu tepelnými cykly, v závislosti na teplotě a profilu proudu uvedeném na *Obr. 3.2* a s možnostmi v *Tab. 3.2*.

Tab. 3.2 Možnosti testu tepelnými cykly pro sekvenci B [20].

<i>Možnosti</i>	<i>Maximální teplota buňky [°C]</i>	<i>Celkový počet cyklů</i>	<i>Použitý proud</i>
<i>TCB-1</i>	<i>85</i>	<i>200</i>	<i>Žádný</i>
<i>TCB-2</i>	<i>110</i>	<i>100</i>	
<i>TCB-3</i>	<i>65</i>	<i>400</i>	

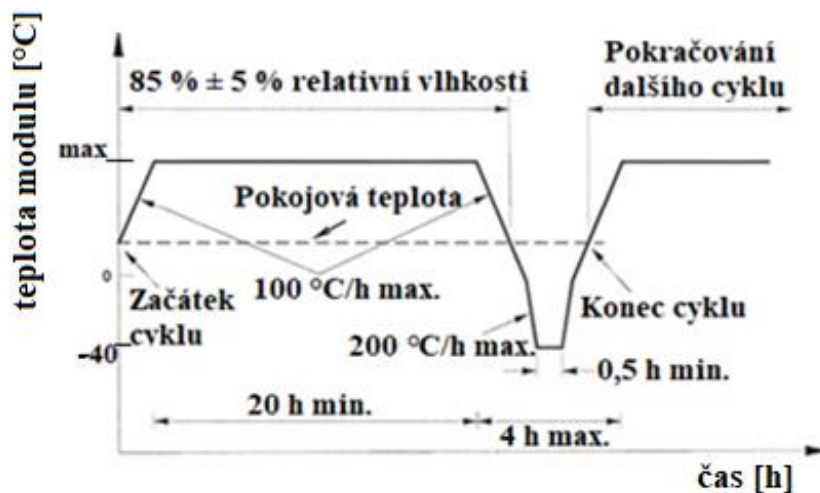
Po vyjmutí z klimatické komory, by měly být vzorky podrobeny cyklům testu odolnosti vlhku a mrazu doprovázenými teplotním/vlhkostním profilem uvedeným na *Obr. 3.3*. V *Tab. 3.4* jsou uvedeny maximální teploty materiálů komponentů použitých ve vzorcích. Na konci zkoušky, během 2 až 4 hodin po vyjmutí z klimatické komory, by testované vzorky měly být podrobeny vizuální kontrole a testu izolace za sucha i vlhka.

Tab. 3.3 Možnosti testu odolnosti vlhkosti a mrazu pro sekvenci B [20].

<i>Možnosti</i>	<i>Maximální teplota buňky [°C]</i>	<i>Vlhkost [%]</i>	<i>Celkový počet cyklů</i>	<i>Použitý proud</i>
<i>HFC-1</i>	<i>85</i>	<i>85</i>	<i>20</i>	<i>Žádný</i>
<i>HFC-2</i>	<i>65</i>	<i>85</i>	<i>40</i>	

- **Požadavky**

Stejně jako u předchozího měření. [20]



Obr. 3.3 Profil podmínek testu odolnosti vlhkosti a mrazu [20].

3.9 Test nárazu krup

Účel tohoto testu je určit odolnost jednotlivých částí CPV systémů při krupobití. Pokud je systém navrhnut do oblasti, kde je krupobití velmi neobvyklé, tak tento test může být vynechán. Tento fakt by měl být zdůrazněn ve shrnutí testu a ve výrobních certifikátech.

- **Zařízení**

- a) Moduly z vhodných materiálů pro zkoušku odolnosti kroupám o průměru 25,4 mm $\pm 5\%$.
- b) Mrazák s teplotou $-10\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$.
- c) Teplota skladovacího kontejneru pro uložení krup $-4\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$.
- d) Zařízení schopné vystřelit ledovou kroupu, do určeného místa na vzorku, rychlostí $22,4\text{ m/s} \pm 5\%$.
- e) Pevný držák pro podporu testovaného vzorku způsobem, který je předepsaný výrobcem.
- f) Váha pro stanovení hmotnosti ledové kroupy, která má být $7,9\text{ g} \pm 0,4\text{ g}$.
- g) Nástroj pro měření rychlosti ledové kroupy s přesností $\pm 2\%$. Senzor rychlosti by neměl být více než 1 m od místa dopadu.

- **Postup**

- a) Použijte formu a mrazák na vytvoření vhodných ledových krup pro test a předběžnou přípravu vystřelovacího zařízení.

- b) Umístěte vzorek podle instrukcí výrobce, s kolmou cestou kroupy na nárazovou plochu.
- c) Označte nejméně deset různých míst dopadu krup na vzorky, použitím následujících pokynů výběru:
 - Oblasti, které pravděpodobně mohou být zasaženy kroupami padajícími z 45° kolem svislé osy, jestliže je systém v normální provozní nebo úložné poloze.
 - Rohy, které nejsou více než 25 mm od okrajů.
 - Okraje, které nejsou více než 12 mm od upevňovacího bodu nosných konstrukcí.
 - Místa, které jsou nejdále od upevňovacího bodu nosných konstrukcí.
 - Jakákoliv jiná místa, které by mohly být ohroženy krupobitím.
- d) Ověřte velikost a hmotnost ledových krup. Kroupy by neměly mít žádné viditelné praskliny.
- e) Umístěte kroupy do úložného kontejneru po dobu nejméně 1 hodiny.
- f) Zajistěte pokojovou teplotu povrchu odpalovacího zařízení, který by mohl být v kontaktu s kroupami.
- g) Doba mezi vyjmutím krup z kontejneru a dopadem na vzorek, by měla být menší než 60 vteřin.
- h) Odpalte několik zkušebních střel na pokusný cíl a nastavte odpalovací zařízení podle požadavků na místo dopadu a rychlost krup.
- i) Odpalte první kroupu na označené místo, prozkoumejte vzorek v místě dopadu a zaznamenejte jakékoliv viditelné poškození.
- j) Opakujte předchozí dva kroky pro ostatní oblasti.

- **Požadavky**

Nejsou žádné specifické požadavky, ale je potřeba vzorky kontrolovat a zaznamenat po každém nárazu krup, zda se vyskytly praskliny, díry ve vzorku, úlomky větší než 25 mm² nebo jakékoliv jiné poškození. [20]

3.10 Test postřikem vody

Účelem této zkoušky je zjistit, zda může dešťová voda prosáknout do vzorku, a tím způsobit zkrat nebo bezpečnostní riziko.

- **Postup**

- a) Umístěte vzorek na zkušební držák, aby bylo dosaženo následujících poloh:
 - s čelní plochou 45 ° podle vodorovné osy;
 - v úložné poloze;
 - v limitní poloze sledovače;
 - vzhůru nohama.
- b) Proveďte zapojení kabeláže podle instalačních pokynů. Při více metodách zapojení by měla být použita taková, při které je nejméně pravděpodobné, že dojde k zamezení vstupu vody do oblasti svorkovnice.
- c) Umístěte zkušební zařízení produkující déšť, které splňuje požadavky uvedené v ANSI/UL1703:2002, sekce 33.5, nad vzorek.
- d) Vzorek by měl být vystaven proudu vody po dobu 1 hodiny, při všech polohách a s odstupem nejméně 15 minut mezi jednotlivými polohovými zkouškami. Po každém hodinovém testu by mělo být kontrolováno, zda došlo k průniku nebo usazení vody v jakékoliv oblasti obsahující elektricky aktivní části. Při její přítomnosti se musí zajistit, aby nezasáhla do neizolovaných elektrických částí.
- e) Během 2 hodin po posledním testu by měl být proveden test elektrické izolace 3.4. V této době by nemělo být provedeno žádné manuální sušení. Pokud izolační odpor nevyhovuje požadavkům, tak by měl být test elektrické izolace opakován po uschnutí modulu, aby se zjistilo, zda byl tento stav způsoben vlhkostí uvnitř modulu.

- **Požadavky**

- a) Žádné známky po hlavních vizuálních poškozeních určených v 3.1.2.
- b) Odpor izolace by měl podléhat stejným požadavkům jako v 3.4.
- c) Pokud je přítomna zbytková voda, neměla by zasahovat do žádné elektricky aktivní části. [20]

3.11 Test blokovací diody

Účelem tohoto testu je posouzení adekvátnosti tepelné konstrukce a relativní dlouhodobé spolehlivosti blokových diod, použitých k omezení nežádoucích účinků horkých míst.

- **Testovaný vzorek**

Speciálně vyrobený vzorek je potřeba v případě, že blokovácí dioda je součástí konstrukce a bez porušení integrity není možný přístup k jejímu měřiči teploty nebo nejteplejšímu kontaktu. Tento vzorek by měl být vyroben s přístupným teplotním čidlem připojeným k blokovácí diodě. Dráty teplotního čidla by měly mít nízkou teplotu a připojeny tak, aby zajistily minimální narušení provozu a teploty okolního prostředí diody. Ve všech ostatních ohledech by měla být výroba stejná jako u standardního vzorku.

- **Zařízení**

- a) Prostředky pro ohřívání vzorku na teplotu $75\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.
- b) Prostředky pro měření a záznam teploty s přesností $\pm 1\text{ °C}$.
- c) Prostředky pro měření teploty diody, při jejich použití je třeba minimalizovat jakékoliv změny vlastností diody.
- d) Stejnoseměrný napájecí zdroj schopný produkovat proud velikosti 1,25násobku I_{SC} a zařízení pro měření proudu vzorku během doby testování.

- **Postup**

- a) Zapojte blokovácí diodu ke vzorku.
- b) Připojte kladný výstup stejnosměrného zdroje k záporné svorce vzorku a záporný výstup ke kladné svorce.
- c) Zahřejte modul na teplotu $75\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$. Přiveďte do vzorku proud rovný velikosti $I_{SC} \pm 2\%$ a po 1 hodině změřte teplotu blokovácí diody.
- d) Zvyšte velikost proudu na 1,25násobek I_{SC} při udržování teploty vzorku na $75\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$. Udržujte proud po dobu 1 hodiny a poté ověřte funkčnost diody.

- **Požadavky**

- a) Žádné známky po hlavních vizuálních poškozeních určených v 3.1.2.
- b) Po ukončení testu by měla být dioda stále funkční. [20]

3.12 Test robustnosti koncovek

Účel této zkoušky je stanovit, zda koncovky a upevnění koncovek k tělu vzorku odolají tlakům vynaloženým během instalace nebo manipulace.

- **Typy koncovek**

- Typ A: drát nebo zástrčka
- Typ B: štítky, závitové tyče, šrouby atd.
- Typ C: konektory

- **Postup**

Koncovky typu A

Zkouška v tahu, která je popsána v IEC 60068-2-21, test Ua, s následujícími pokyny:

- všechny koncovky by měly být otestovány;
- síla tahu by neměla překročit váhu modulu.

Zkouška v ohybu popsána v IEC 60068-2-21, test Ub, s následujícími pokyny:

- všechny koncovky by měly být otestovány;
- metoda 1 s 10 cykly (1 cyklus s 1 ohnutím v každém směru).

Koncovky typu B

Zkoušky v tahu a ohybu:

- a) Pro moduly s nekrytými konci, z nichž by každá koncovka měla být otestována jako u typu A.
- b) Jsou-li koncovky umístěny v ochranném krytu, tak by měl následovat tento postup:
 - kabel velikosti a typu doporučeným výrobcem by měl být připojen ke koncovkám uvnitř krytu. Kabel je třeba protáhnout skrz otvor kabelové žlázy a následně připnout. Víko krytu by mělo být opatrně vyměněno, a poté by měly být koncovky modulu testovány jako u typu A.

Zkouška kroutivé síly popsána v IEC 60068-2-21, test Ud, by měla být provedena pro všechny koncovky.

Matice a šrouby by mělo jít po skončení testů uvolnit, pokud nejsou speciálně vyrobeny pro trvalé připevnění.

Koncovky typu C

Kabel velikosti a typu doporučeným výrobcem modulu by měl být připojen ke konci výstupu konektoru, a poté by měly být vykonány zkoušky stejné jako pro koncovky typu A.

- **Požadavky**

Stejně jako u testu vlhkým teplem. [20]

3.13 Mechanický zátěžový test

Účelem testu je určit, zda je vzorek schopný odolat větru, zátěži sněhu a dalším mechanickým poruchám. Pokud je CPV systém označen dle výrobce, že není vhodný pro instalaci v oblastech s extrémními podmínkami, musí výrobce stanovit limity těchto živlů působících na vzorek. Hodnoty zátěže použité v následujícím testu by měly odpovídat požadavkům výrobce. Pokud je konstrukce nevhodná pro sněhové oblasti, zátěžový test sněhem nemusí být proveden. CPV systém by měl být analyzován kvalifikovanými inženýry, aby se ověřilo, zda konstrukce splňuje požadavky v místě instalace.

- **Postup**

- a) Udělejte pevnou testovou strukturu základny. Je-li zatížení provedeno hmotností, měl by být vzorek namontován přední stranou nahoru nebo dolů. Testová základna by měla umožnit volné vychýlení vzorku během působení zatížení.
- b) Namontujte testový vzorek na upevněnou strukturu, použitím metody předepsané výrobcem. Jestli jsou zde různé možnosti, použijte nejhorší případ, jako je nejdelší vzdálenost mezi upevněnými body. Způsob montáže a fotky by měly být zahrnuty do závěrečné zprávy.
- c) Připojte testovaný vzorek k monitorovacímu přístroji, aby elektrická kontinuita vnitřního obvodu mohla být v průběhu zkoušky nepřetržitě sledována.
- d) Obstarejte si vhodné hmotnostní a tlakové prostředky k uplatnění zátěže postupným a jednotným způsobem.
- e) Přední stranu postupně zatíže jednotným zatížením 2 400 Pa. Tato zátěž může být aplikována pneumaticky nebo pomocí závaží pokrývajícího celý povrch. V dalším způsobu musí být vzorek montován horizontálně. Udržujte toto zatížení po dobu 1 hodiny. Tento krok poté opakujte pro zadní stranu vzorku
- f) Opakujte předchozí krok pro celkem tři cykly.

- **Požadavky**

- a) Žádné přerušení otevřeného obvodu závadou během testu.
- b) Žádné známky po hlavních vizuálních poškozeních uvedených v 3.1.2.
- c) Odpor izolace by měl podléhat stejným požadavkům jako v 3.4. [20]

3.14 Test odolnosti proti vychýlenému paprsku

Účelem testu je posoudit, zda může dojít při špatném umístění nebo poruše k poškození nějaké části vzorku dopadem koncentrovaného slunečního záření.

- **Speciální případ**

CPV systém, který používá nespolehlivý ochranný systém k řešení problémů s umístěním, může být vyňat z požadavků. Ochranný systém by měl reagovat na nepřesná umístění a poruchy podle návrhu výrobce, jinak by měl být proveden normální test odolnosti proti vychýlenému paprsku

- **Postup**

- Vzorky by měly být zkoumány nejprve ke stanovení, zda je nějaký materiál poškozen vysokou teplotou nebo intenzivním slunečním zářením, a zda jsou tyto materiály dostatečně chráněny při expozici.
- Pokud jsou identifikovány nedostatečně chráněné materiály, vzorek bude umístěn tak, aby bylo světlo zaostřeno na tyto lokace.
- Udržujte vzorek v této pozici dráhy slunce po dobu nejméně 15 minut s *DNI* vyšším než 800 W/m^2 . Tento krok zopakujte pro všechny podezřelé lokace.
- Pozorujte testované vzorky během každé expozice a zkontrolujte, zda se vyskytly nějaká poškození.
- Pokud nejsou nalezena žádná specifická místa:
 - vzorek by měl směřovat ke slunci;
 - sledování by mělo být zastaveno;
 - záření pod úhlem 45° vzhledem ke vzorku;
 - *DNI* alespoň 800 W/m^2 .

- **Požadavky**

- Žádné známky po hlavních vizuálních poškozeních definovaných v 3.1.2, zvláště po stopách od tavení, spálení, deformací nebo hoření jakéhokoliv materiálu.
- Odpor izolace by měl podléhat stejným požadavkům jako v 3.4. [20]

3.15 Test odolnosti proti ultrafialovému záření

Tato zkouška může být kombinována s venkovním expozičním testem, sledováním UV záření z přirozeného slunečního svitu a dodržením požadavku záření 50 kWh/m².

Účelem testu je odhalit možná předčasná selhání fyzické a elektrické integrity při vystavení vzorku UV záření.

- **Postup**

- a) Vystavte vzorek celkové dávce UV záření 50 kWh/m² ± 10 % v rozsahu vlnových délek pod 400 nm.
- b) Použijte jeden nebo kombinaci čtyř světelných zdrojů. Akceptovatelné jsou flurescentní UV-A a UV-B lampy, xenonové obloukové lampy nebo přirozené sluneční světlo (normální nebo koncentrované), a to za předpokladu, že jsou splněny podmínky pro dávkování a vlnovou délku UV záření. Nicméně pro venkovní test, kdy je DNI menší než 600 W/m², UV záření nesmí být započítáváno k celkové dávce.
- c) Teplota vzorku by měla být udržována na 60 °C ± 5 °C po dobu trvání testu v laboratorních podmínkách. Pro venkovní test by měla být zaznamenávána venkovní a nejvyšší teplota vzorku, s intervalem menším než 5 minut.
- d) Pokud systém vyžaduje aktivní chlazení, tak musí být chladicí systém během testu v provozu.

- **Požadavky**

- a) Žádné známky po hlavních vizuálních poškozeních definovaných v 3.1.2.
- b) Při měření VA charakteristiky za normálního slunečního záření by pokles výkonu měl být menší než 7 %.
- c) Odpor izolace by měl podléhat stejným požadavkům jako v 3.4. [20]

3.16 Test odolnosti za venkovních podmínek

Účelem testu je provést předběžné posouzení schopnosti vzorku, odolat expozici za venkovních podmínek a odhalit jakékoliv zhoršující účinky, které nemohou být zjištěny při laboratorních testech.

- **Postup**

- a) Vzorek by měl být instalován venku a připojen k rozvodné síti podle doporučení výrobce.
- b) Monitorování záření by mělo být instalováno koplanárně se vzorkem.
- c) Jakákoliv ochranná zařízení proti horkým místům doporučená výrobcem by měla být instalována před umístěním vzorku.
- d) Pokud systém vyžaduje aktivní chlazení, tak musí být chladicí systém během testu v provozu.
- e) Vzorek by měl obsahovat sledovač, a záření by mělo splňovat následující požadavky:
 - souhrnné DNI 1 000 kWh/m²;
 - souhrnné UV záření 50 kWh/m², pokud je tento test kombinován s testem odolnosti proti UV záření;
 - pokud je DNI menší než 600 W/m², DNI a UV záření by se neměly počítat.

- **Požadavky**

Stejně jako u předchozího měření. [20]

3.17 Test odolnosti proti horkým místům

Účelem testu je vyhodnotit schopnost vzorku, snášet dlouhodobé účinky působení horkých míst spojeného s běžnými poruchovými stavy, jako jsou vážně prasklé nebo neodpovídající čipy, jednobodové poruchy otevřeného obvodu nebo nerovnoměrné ozáření. Vzorky s jednou blokovací diodou pro každý čip nemusí podstupovat tento test.

Test by měl být proveden podle IEC 61215, článek 10.9 test odolnosti proti horkým místům, s jednou výjimkou, která je přidání 5 % při měření VA charakteristiky za normálního slunečního záření k maximálním požadavkům na pokles výkonu. [20]

4 Realizace vybraných metod a postupů

Pro realizaci byli použity 3 přijímače s rozdílnými materiály použitými pro chlazení. Jednotlivé přijímače jsou uvedeny v *Tab. 4.1*. Každé měření bylo realizováno pro jednotlivé přijímače samostatně a zkratový proud I_{SC} byl pro všechny přijímače 6 A.

Tab. 4.1 Použité přijímače.

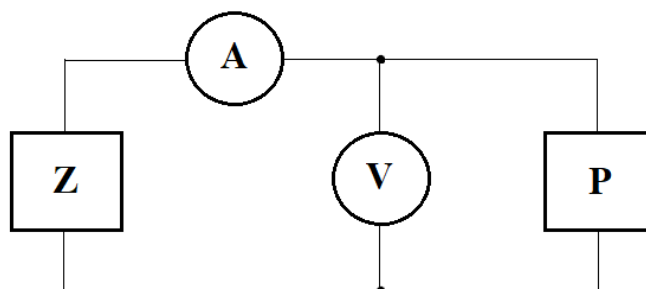
<i>Přijímač</i>	<i>Chladič</i>
1	<i>Měď</i>
2	<i>Hliník</i>
3	<i>Měď + hliník</i>

4.1 Vizuální kontrola

Při vizuální kontrole nebyli zjištěny závady na žádném přijímači, tudíž jsou vhodné pro všechny typy měření. Jednotlivé fotky vzorků jsou umístěny v příloze B.

4.2 Měření VA charakteristiky při zatemnění

Toto měření bylo realizováno pomocí napájecího zdroje, ampérmetru a voltmetru. Původní chladiče přijímačů byly na toto měření odmontovány a pro chlazení byl použit externí chladič, na který se přijímač připevnil pomocí teplovodivé pasty. Další kroky jsou totožné s postupem uvedeným v 3.2.2. Schéma měření je zakresleno na *Obr. 4.1*, změřené a vypočtené hodnoty jsou zobrazeny v *Tab. 4.2*. Dále jsou zobrazeny VA charakteristiky přijímačů (*Obr. 4.2*) a jednotlivé aproximace VA charakteristik (*Obr. 4.3-4.5*), ze kterých byl zjištěn sériový odpor (*Tab. 4.3*).



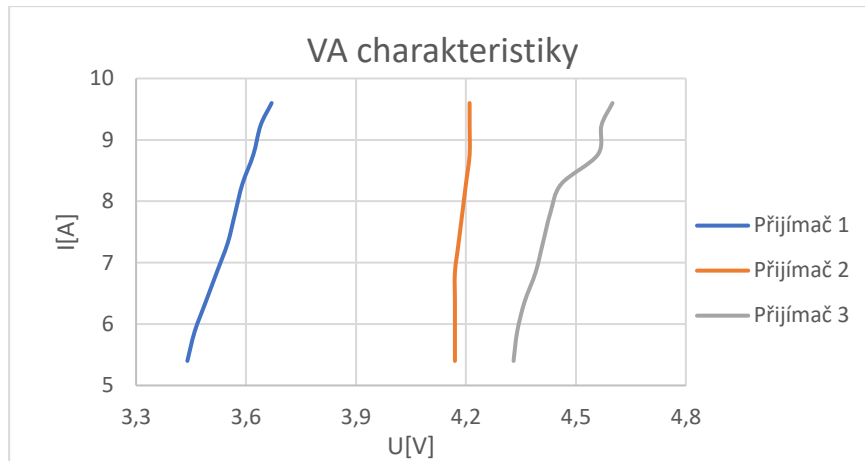
Obr. 4.1 Schéma měření VA charakteristiky při zatemnění.

Tab. 4.2 Změřené a vypočtené hodnoty.

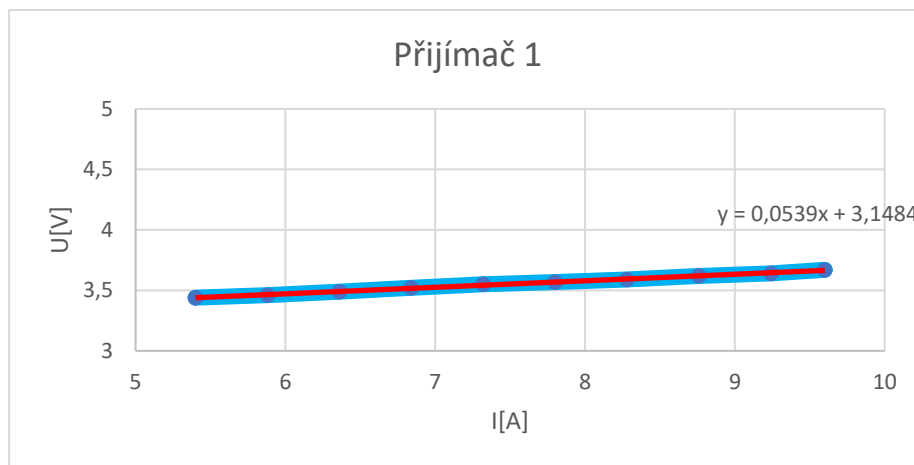
I [A]	U_1 [V]	U_2 [V]	U_3 [V]
5,4	3,44	4,17	4,33
5,88	3,46	4,17	4,34
6,36	3,49	4,17	4,36
6,84	3,52	4,17	4,39
7,32	3,55	4,18	4,41
7,8	3,57	4,19	4,43
8,28	3,59	4,2	4,46
8,76	3,62	4,21	4,56
9,24	3,64	4,21	4,57
9,6	3,67	4,21	4,6

Tab. 4.3 Sériový odpor přijímačů.

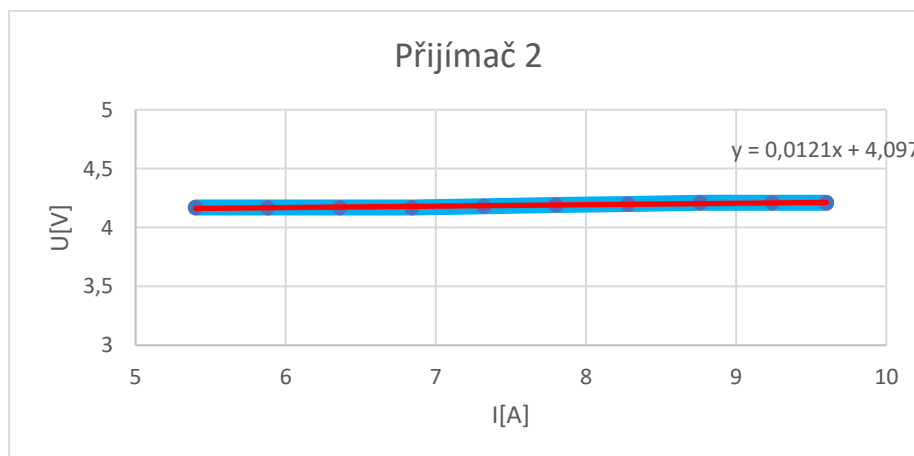
Přijímač	1	2	3
R [m Ω]	53,9	12,1	67,4



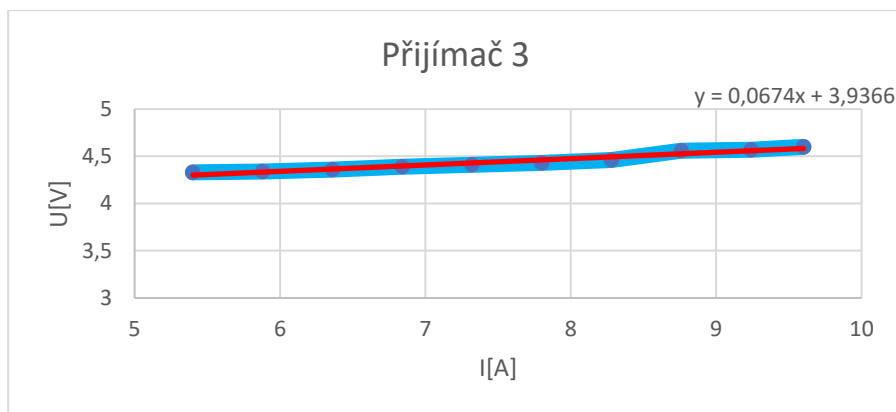
Obr. 4.2 VA charakteristiky jednotlivých přijímačů



Obr. 4.3 Aproximace VA charakteristiky při zatemnění přijímače 1.



Obr. 4.4 Aproximace VA charakteristiky při zatemnění přijímače 2



Obr. 4.5 Aproximace VA charakteristiky při zatemnění přijímače 3.

4.3 Test zemnicí cesty

Při tomto měření byl použit napájecí zdroj a voltmetr. Postup měření je uveden v 3.3. Změřené a vypočtené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 4.4.

Tab. 4.4 Změřené a vypočtené hodnoty.

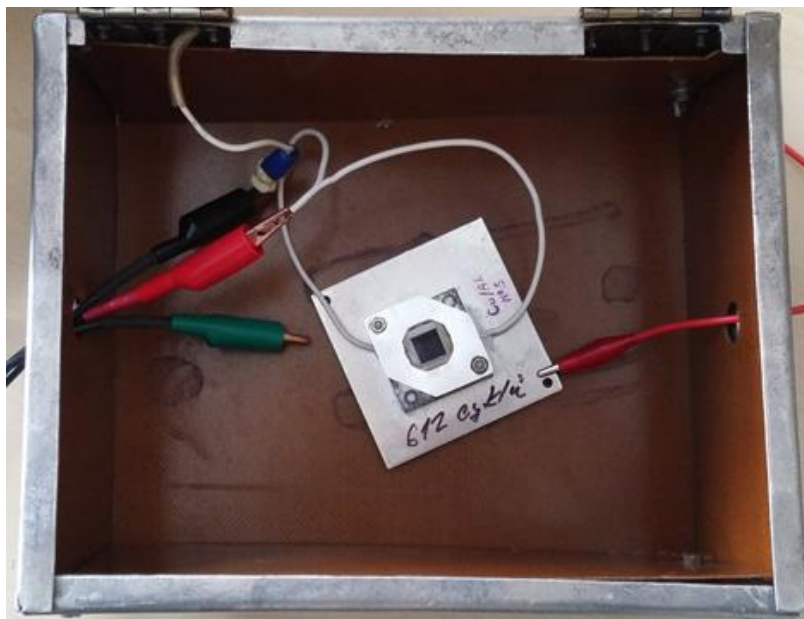
Přijímač	I[A]	U[V]	R[Ω]
1	12	0,62	0,05
2	12	0,60	0,05
3	12	1,25	0,10

4.4 Test izolace za sucha

Pro měření byl použit elektrometr a stínící box, který obsahoval přívody, pomocí nichž byl přijímač připojen k elektrometru (viz Obr. 4.6). Další postup je obdobný jako v kapitole 3.4. Změřené a dopočítané hodnoty jsou uvedeny v Tab. 4.5.

Tab. 4.5 Změřené a vypočtené hodnoty.

Přijímač	U [V]	I [pA]	R [TΩ]
1	1000	16,68	0,600
	500	15,25	0,328
2	1000	16,45	0,608
	500	16,08	0,311
3	1000	17,35	0,576
	500	17,85	0,280



Obr. 4.6 Test izolace za sucha – přijímač ve stínícím boxu.

4.5 Test izolace za vlhka

Měření bylo provedeno pomocí elektrometru a nádoby, která obsahovala kohoutkovou vodu, jejíž rezistivita odpovídala požadavkům měření, hodnota byla tedy naměřena menší než $3\,500\ \Omega\cdot\text{cm}$ při $22\ ^\circ\text{C}$. Další postup měření je uveden v kapitole 3.5. Změřené hodnoty společně s dypočítanými jsou zobrazeny v Tab. 4.6.

Tab. 4.6 Změřené a vypočtené hodnoty.

Přijímač	U [V]	I [pA]	R [T Ω]
1	500	15,9	0,314
2	500	15,97	0,313
3	500	15,9	0,314

4.6 Test blokovací diody

Při měření byl použit napájecí zdroj, měřič teploty a pec pro zahřátí přijímače. Na toto měření byl použit pouze jeden přijímač. Nejdříve byl přijímač, pomocí teplovodivé pasty a pásky, připevněn na externí chladič, poté byl umístěn do pece, kde se připojil pomocí drátů

ke zdroji. Dále byl drát měřiče teploty, pomocí teplovodivé pasty a pásky, připevněn k blokovací diodě. Pec byla uzavřena a spuštěna. Další postup je uvedený v kapitole 3.11. Hodnoty teploty blokovající diody jsou uvedeny v Tab. 4.7.

Tab. 4.7 Hodnoty proudu a teploty diody.

I [A]	T [°C]
6	84,8
7,5	94,6



Obr. 4.7 Test blokovací diody

Závěr

Ve slunečních oblastech jsou CPV systémy velmi perspektivní technologií pro získávání elektrické energie ze slunečního záření, potvrzují to i probíhající výzkumy a vývoje této technologie. Můžeme tedy do budoucna předpokládat, že dojde ke zvýšení účinnosti fotovoltaické přeměny a snížení výrobních nákladů na tyto systémy.

Nicméně v našich oblastech, bez požadovaného přímého záření, se nevyplatí budovat elektrárny s těmito systémy, zde je výhodnější používat klasické FV články a panely, které nepotřebují čistě přímé záření a mohou pracovat i s rozptýleným. V této práci byly tyto články a panely také popsány, ale větší část práce pojednávala o CPV systémech, u nichž byla pozornost zaměřena zejména na postupy a metody testování jejich částí.

Praktická část práce se zabývala měřením CPV přijímačů, které jsou součástí těchto systémů. Jako první proběhla vizuální kontrola, u které všechny přijímače obstály a mohly být tedy následně testovány. Nejdříve se uskutečnilo měření VA charakteristiky v zatemněném režimu, u kterého nebyly uvedeny žádné specifické požadavky, které by měly dané přijímače splňovat. Dále se měřila zemnicí cesta, u které byly požadavky pro dané přijímače splněny, definovaná hodnota odporu tedy nebyla překročena. Poté se měřila elektrická izolace za sucha a mokra, kde byl požadavek na minimální hodnotu odporu také splněn pro všechny přijímače. Poslední měření bylo také úspěšné, spočívalo v otestování blokovací diody přijímače za vysokých teplot. Požadavek byl funkčnost diody a žádné známky po vizuálních poškozeních po dokončení testu.

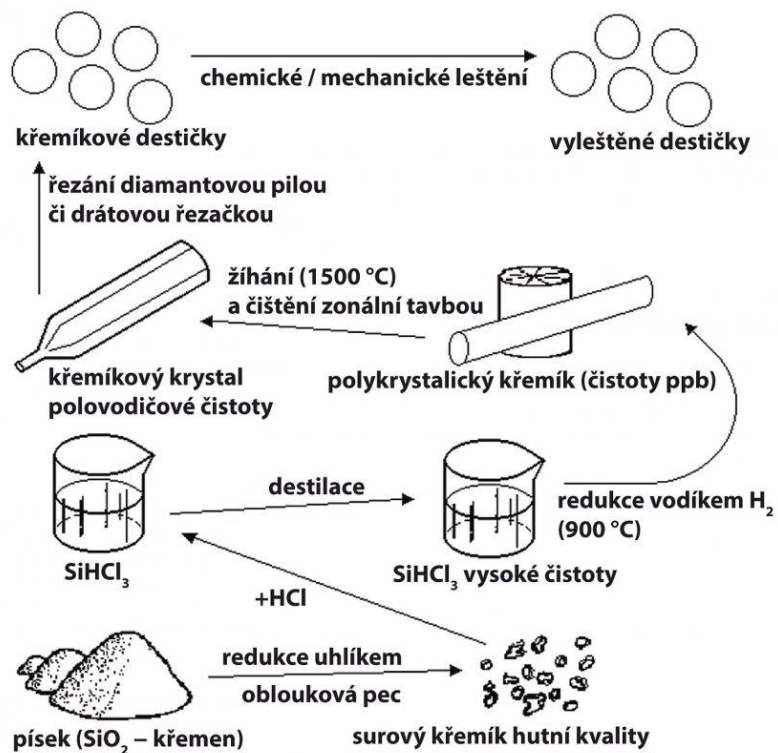
Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] KOSMÁK, František. ELEKTRIKA. *Historie fotovoltaiky*. [online]. 2016 [cit. 2016-10-23] Dostupné z: <<http://elektrika.cz/data/clanky/historie-fotovoltaiky>>
- [2] SUNLIGHTELECTRIC. *Photovoltaic history*. [online]. 2016 [cit. 2016-10-23] Dostupné z: <<http://www.sunlightelectric.com/pvhistory.php>>
- [3] TZBINFO. *Stručná historie fotovoltaiky*. [online]. 2016 [cit. 2016-10-23] Dostupné z: <<http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11652-strucna-historie-fotovoltaiky>>
- [4] LIBRA, Martin a POULEK, Vladislav. *Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů*. ELEKTRO [online]. Praha: FCC Public s. r. o., 2010, 3, 6-9. ISSN 1210-0889. [cit. 2016-10-23] Dostupné z: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40646.pdf>>
- [5] KUSALA, Jaroslav. CEZ. *Fotovoltaický jev*. [online]. 2016 [cit. 2016-10-23] Dostupné z: <<https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/f8.htm#model>>
- [6] KOSMÁK, František. ELEKTRIKA. *Princip fotovoltaického článku*. [online] 2016 [cit. 2016-10-23] Dostupné z: <<http://elektrika.cz/data/clanky/princip-fotovoltaickeho-clanku>>
- [7] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie*. Praha: Ilsa, 2009. ISBN 978-80-904311-0-2.
- [8] CZAREA. *Fotovoltaika*. [online]. 2016 [cit. 2016-10-23] Dostupné z: <<http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika/>>
- [9] CNE. *Fotovoltaické systémy pro výrobu elektřiny*. [online]. 2017 [cit. 2017-02-26] Dostupné z: <<http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>>
- [10] BECHNÍK, Bronislav. TZBINFO. *Historie a perspektivy OZE – fotovoltaika, méně rozšířené technologie*. [online]. 2017 [cit. 2017-2-26] Dostupné z: <<http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5517-historie-a-perspektivy-oze-fotovoltaika-mene-rozsirene-technologie>>
- [11] SOLARMARKET. *Solar panel technologies*. [online]. 2017 [cit. 2017-03-28] Dostupné z: <<https://www.solarmarket.com.au/buying-tips/choosing-the-right-system/solar-panel-technologies/>>
- [12] MCCONNELL, Robert a Vasilis FTHENAKIS. *Concentrated Photovoltaics. Third Generation Photovoltaics*. [online]. InTech, 2012 [cit. 2017-04-30]. DOI: 10.5772/39245. ISBN 978-953-51-0304-2. Dostupné z:

- <<http://www.intechopen.com/books/third-generation-photovoltaics/concentrating-photovoltaics>>
- [13] ELCERAM. *Koncentrovaná fotovoltaika*. [online]. 2016 [cit. 2016-10-25]
Dostupné z: <<http://www.elceram.cz/cs/vyvoj-koncentrovana-fotovoltaika-cpv.html>>
- [14] GREEN RHINO ENERGY. *Concentrating Photovoltaics (CPV)*. [online]. 2017
[cit. 2017-03-28] Dostupné z:
<http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv_concentration.php>
- [15] FEDKIN, Mark. PENN STATE: *EME 812 Utility Solar Power and Concentration. What are concentrating photovoltaics?*. [online]. 2017 [cit. 2017-03-28] Dostupné z: <<https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/537>>
- [16] MURDOCH UNIVERSITY. *Concentrated solar*. [online]. 2017 [cit. 2017-05-13]
Dostupné z: <<http://www.see.murdoch.edu.au/resources/info/Tech/hightemp/>>
- [17] Leow, Shin Woei. (2014). *Low-Cost Photovoltaics: Luminescent Solar Concentrators And Colloidal Quantum Dot Solar Cells*. UC Santa Cruz: Electrical Engineering. Dostupné z: <<http://escholarship.org/uc/item/3w1875c1>>
- [18] VALA, Z. *Fotoluminiscenční metody detekce defektů solárních článků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 65 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.
- [19] ELCERAM. *Technologie Thick Printed Copper*. [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]
Dostupné z: <<http://www.elceram.cz/cs/technologie-technologie-thick-printed-copper.html>>
- [20] ČSN EN 62108. *Koncentrátor fotovoltaických (CPV) modulů a sestav - Posouzení způsobilosti konstrukce a schválení typu*. Praha: Český normalizační institut, 2008.

Přílohy

Příloha A – Výroba křemíku pro FV články (obrázek)



Obr. 0.1 Výroba křemíku pro FV články.

Příloha B – CPV přijímače použité pro testování (obrázek)



Obr. 0.2 Přijímač 1

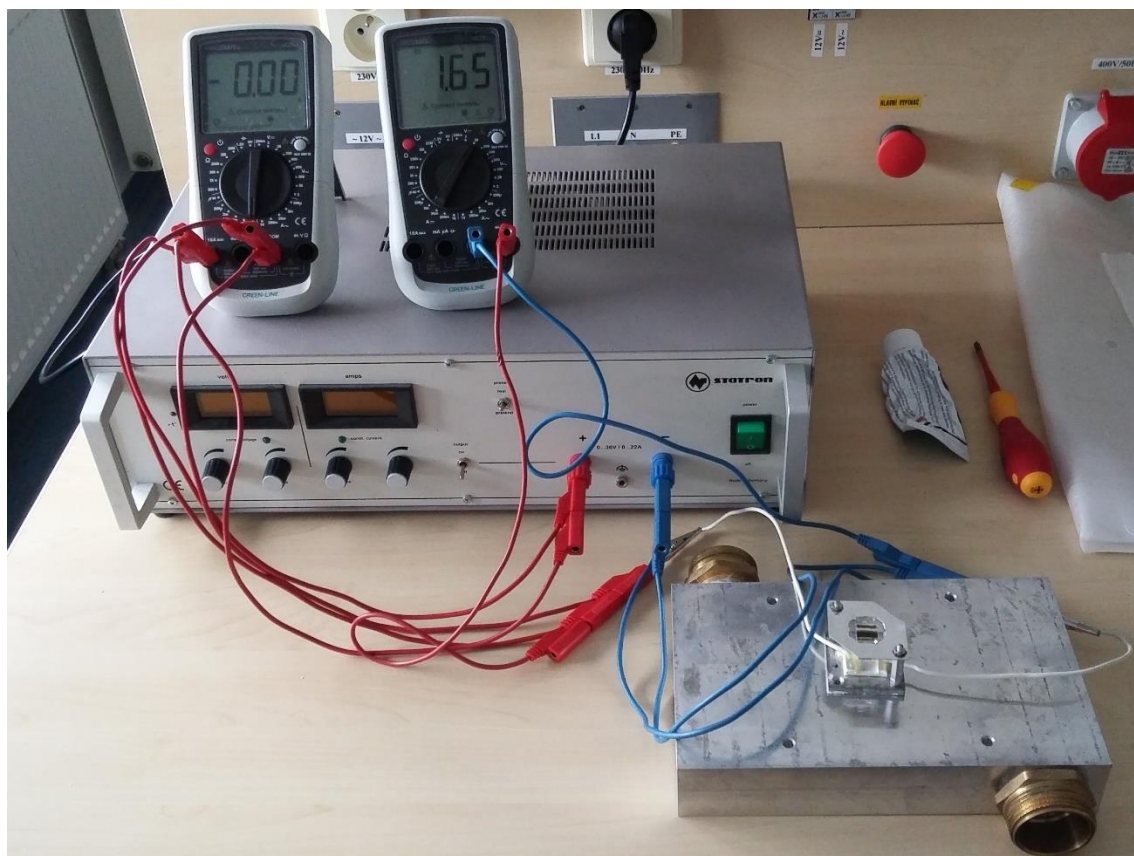


Obr. 0.3 Přijímač 2



Obr. 0.4 Přijímač 3

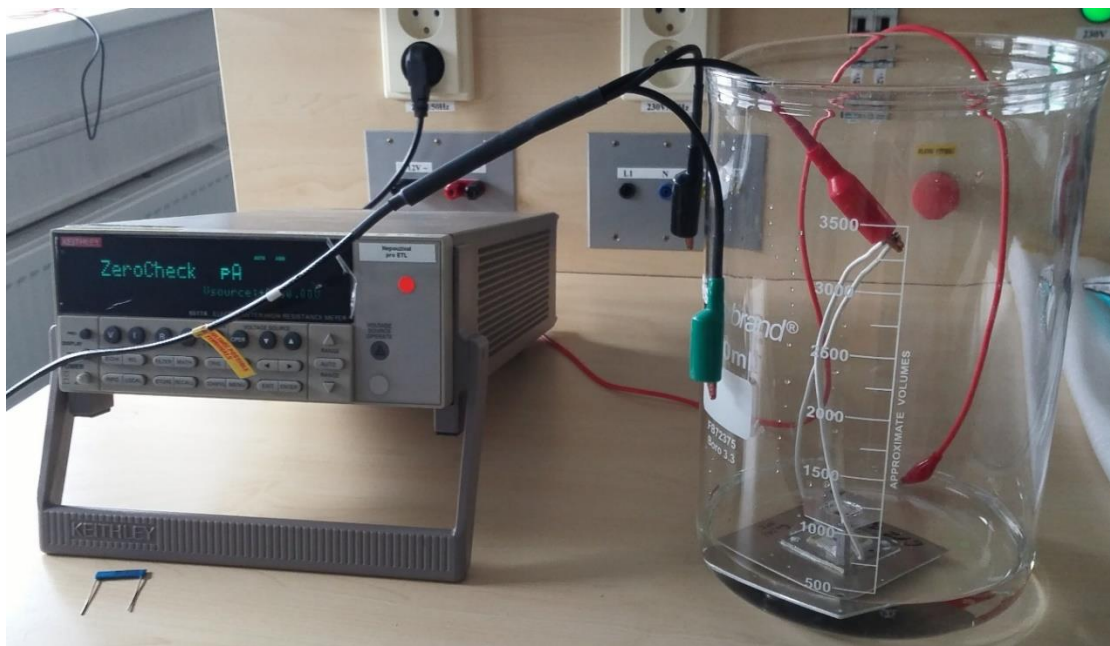
Příloha C – Testování CPV přijímačů (obrázek)



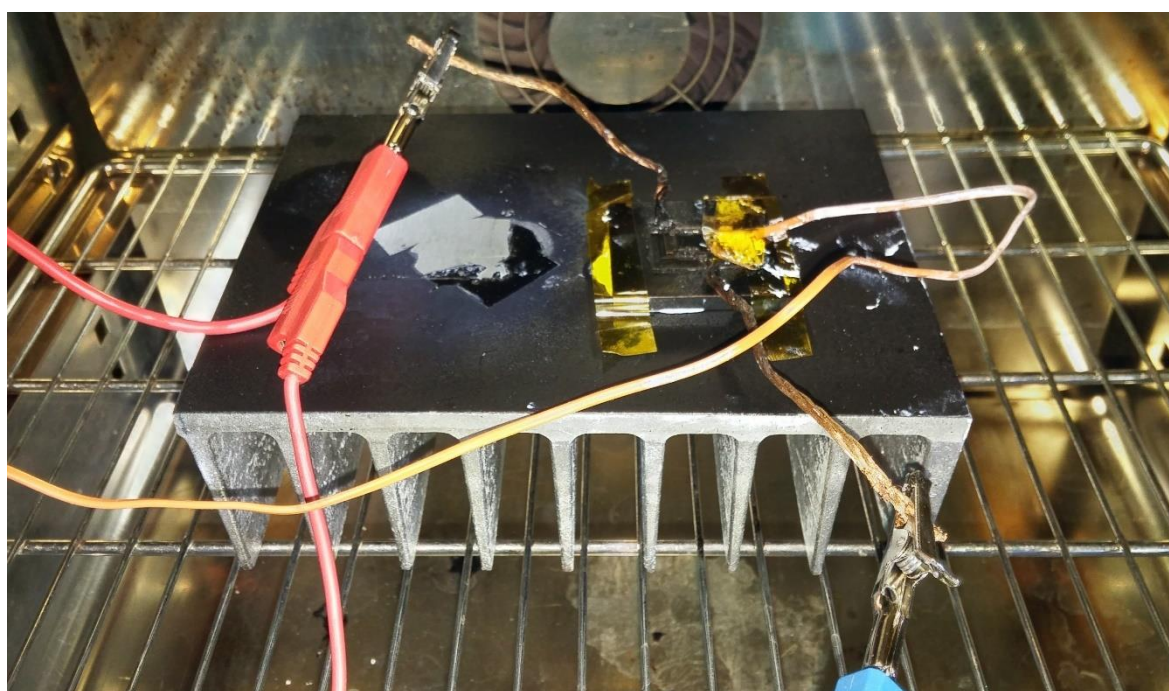
Obr. 0.5 Měření VA charakteristiky při zatemnění.



Obr. 0.6 Test izolace za sucha



Obr. 0.7 Test izolace za vlhka



Obr. 0.8 Test blokováci diody – zapojení přijímače umístěného v peci.