



Expert de
solutions de sûreté



Inspiring
Business



FACULTY OF ELECTRICAL
ENGINEERING
UNIVERSITY
OF WEST BOHEMIA
RICE



Report ASES-2017-04

Metody a postupy testování koncentrovaných FV přijímačů a modulů

22190-067-2017

Smart High Efficient Alternative Solar Energy
Source

ASES

EUR 13-1501

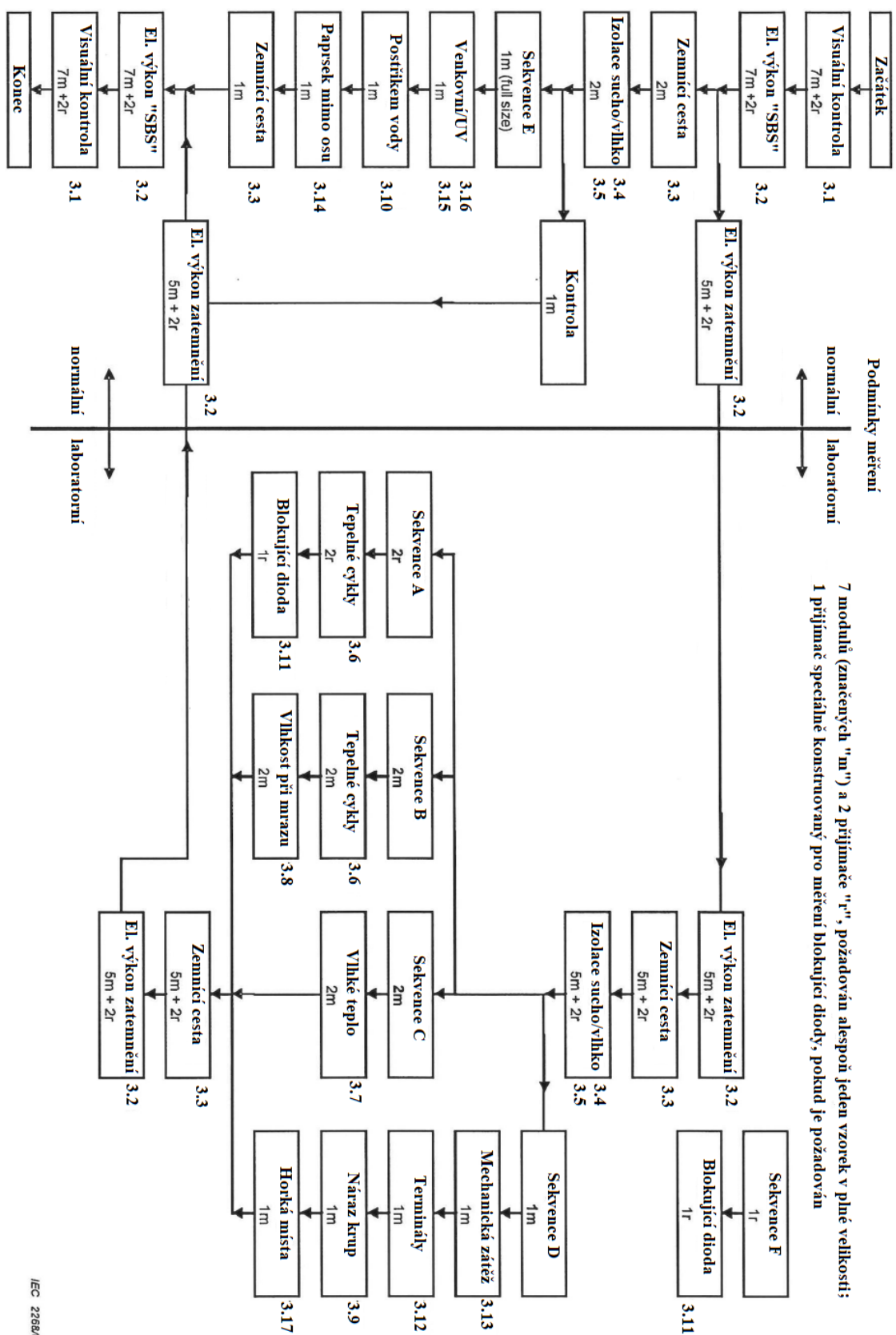
	Jméno	Společnost	Datum
Autoři	Ing. Jiří Hlína Ing. Jan Řeboun, Ph.D.	UWB	23/11/17

1. Úvod

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



IEC 226807

Obr..1 Měřicí sekvence pro CPV moduly.

2. 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 nákrešů nebo fotek. Komponenty jako čočky, zrcadla, sekundární optické elementy a zapouzdření by měli být také kontrolovány pro:

- a) výskyt bublin, delaminací 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) ucpání ventilačních nebo odvětrávacích 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.

3. Měření elektrického výkonu

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

3.1. „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:

$$P_r = \frac{P_m}{P_{mc}} \cdot 100 \%$$

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_{0C} přesně a opakovaně;
- b) Relativní pokles výkonu menší než 13 %. Výpočet se provede podle vztahu:

$$P_{rd} = \frac{(P_{ri} - P_{rf})}{P_{ri}} \cdot 100 \%$$

kde: P_{ri} je relativní výkon měřený před daným testem,

P_{rf} je relativní výkon měřený po daném testu.

3.2. 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:

$$U = R \cdot I + U_0$$

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.

4. 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 za sucha.

- **Požadavky**

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

5. 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 měřicího 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 $10 \text{ M}\Omega$.

6. 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 $3\,500 \text{ }\Omega\cdot\text{cm}$.
- 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 skřínky, vývody, kabely, neizolované svorky nebo ostatní konektory, které nelze ponořit, mohou být umístěny nad úroveň roztoku, ale musí být důkladně vlhčeny postřikem.
- d) Oproti předchozímu testu měřte jen při 500 V.

- **Požadavky**

Stejně jako u přechozího měření.

7. 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. 1*. 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.

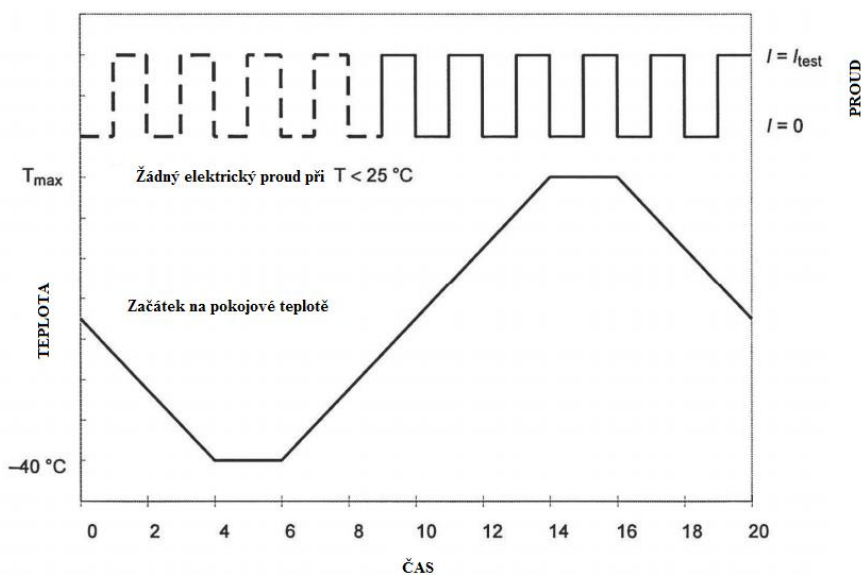
Rychlost cyklování proudu by měla být 10 cyklů v jednom tepelném cyklu. Pokud je teplota čipu nižší než 25 °C, proud by neměl být přiváděn (viz Obr. 2). Obvod vzorku by měl být nepřetržitě sledován a nahráván. Po tomto testu by vzorky měly být podrobeny vizuální kontrole a testu elektrické izolace za sucha.

Tab. 1 Možnosti testu tepelnými cykly pro sekvenci A.

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

- **Požadavky**

- Žádné známky po hlavních vizuálních poškozeních uvedených.
- Žádné přerušení toku proudu v průběhu zkoušky.
- Odpor izolace by měl podléhat stejným požadavkům uvedeným v kapitole 5.



Obr. 1 Teplota a proud při testu tepelnými cykly.

1.1 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 $85^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 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°C , tak druhou možností je test při udržování teploty nepřesahující 65°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 kapitole 2.
- b) Odpor izolace by měl podléhat stejným požadavkům jako v kapitolách 5. a 6.

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.

- **Postup**

Testované vzorky by měly být podrobeny testu tepelnými cykly, v závislosti na teplotě a profilu proudu uvedeném na Obr. 3 a s možnostmi v Tab. 2.

Tab. 2 Možnosti testu tepelnými cykly pro sekvenci B.

<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>	

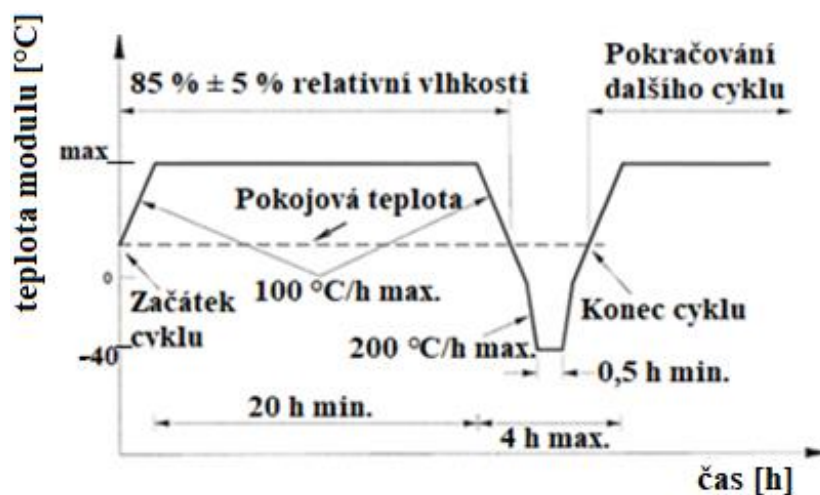
Po vyjmutí z klimatické komory, by měly být vzorky podrobeny cyklům testu odolnosti vlhku a mrazu doprovázenými teplotním/vlhkostním profilem uvedeným na Obr. 3. V Tab. 3 jsou uvedeny maximální teploty materiálů komponentů použitých ve vzorcích. Na konci zkoušky, během 2 až 4 hodin po vyjmutí z klimatické komory, by testované vzorky měly být podrobeny vizuální kontrole a testu izolace za sucha i vlhka.

Tab. 3 Možnosti testu odolnosti vlhkosti a mrazu pro sekvenci B.

<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.



Obr. 8 Profil podmínek testu odolnosti vlhkosti a mrazu.

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

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

• Postup

- Použijte formu a mrazák na vytvoření vhodných ledových krup pro test a předběžnou přípravu vystřelovacího zařízení.
- 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 ze 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, která jsou nejdále od upevňovacího bodu nosných konstrukcí.
 - Jakákoliv jiná místa, která 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.

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) Proved'te 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 za sucha. 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 kapitole 2.
- b) Odpor izolace by měl podléhat stejným požadavkům jako v kapitole 5.
- c) Pokud je přítomna zbytková voda, neměla by zasahovat do žádné elektricky aktivní části.

11. Test blokovací diody

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

- **Testovaný vzorek**

Speciálně vyrobený vzorek je potřeba v případě, že blokovací dioda je součástí konstrukce a bez porušení integrity není možný přístup k jejímu měřicí teploty nebo nejteplejšímu

kontaktu. Tento vzorek by měl být vyroben s přístupným teplotním čidlem připojeným k blokovací 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) Stejnosměrný napájecí zdroj schopný produkovat proud velikosti 1,25násobku I_{SC} a zařízení pro měření proudu vzorku během doby testování.

- **Postup**

- a) Zapojte blokovací 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 blokovací 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 kapitole 2.
- b) Po ukončení testu by měla být dioda stále funkční.

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.

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 zatížte jednotným zatížením 2 400 Pa. Tato zátěž může být aplikována pneumaticky nebo pomocí závaží pokrývajících 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 kapitole 2.
- c) Odpor izolace by měl podléhat stejným požadavkům jako v kapitole 5.

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

- a) 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.
- b) Pokud jsou identifikovány nedostatečně chráněné materiály, vzorek bude umístěn tak, aby bylo světlo zaostřeno na tyto lokace.
- c) 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.
- d) Pozorujte testované vzorky během každé expozice a zkontrolujte, zda se vyskytla nějaká poškození.
- e) 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

- a) Žádné známky po hlavních vizuálních poškozeních definovaných v kapitole 2, zvláště po stopách od tavení, spálení, deformací nebo hoření jakéhokoliv materiálu.
- b) Odpor izolace by měl podléhat stejným požadavkům jako v kapitole 5.

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/m^2 .

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

• Postup

- a) Vystavte vzorek celkové dávce UV záření $50 \text{ kWh/m}^2 \pm 10 \%$ v rozsahu vlnových délek pod 400 nm .
- b) Použijte jeden nebo kombinaci čtyř světelných zdrojů. Akceptovatelné jsou fluerescentní 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/m^2 , UV záření nesmí být započítáváno k celkové dávce.
- c) Teplota vzorku by měla být udržována na $60 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$ 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 kapitole 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 kapitole 5.

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 zařízení 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 zařízení 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 sčítat.

- **Požadavky**

Stejně jako u předchozího měření.

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.

