



INSTYTUT MASZYN PRZEPLYWOWYCH
im. ROBERTA SZEWALESKIEGO
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

ul. J. Fiszera 14
80-231 Gdańsk

Tel. (sekr.): 58 341 60 71
Tel. (centr.): 58 346 08 81
Fax: 58 341 61 44

e-mail: imp@imp.gda.pl
www.imp.gda.pl

Zakład Energetyki Rozproszonej

Gdańsk, dnia 23.07.2020 r.

Raport

Przedmiot badania	Wykonanie pomiar parametrów elektrycznych modułów PV
Miejsce wykonania badań	KEZO – Konwersja Energii i Źródła Odnawialne Centrum Badawcze PAN; Adres: ul. Akademijna 27, 05-110 Jabłonna

1. Wykonanie i opracowanie

Tytuł, imię, nazwisko	Podpis	Data
mgr inż. Krzysztof Mik		23.07.2020

2. Nadzór merytoryczny, zatwierdzenie

Tytuł, imię, nazwisko	Podpis	Data
dr inż. Patryk Chaja		23.07.2020

3. Zleceniodawca

Firma	AFORE POLSKA Sp. z o.o.
Adres	ul. Biecka 21A, 38-300 Gorlice
Osoba do kontaktu	Szymon Orłowski



REGON: 000326121

NIP: 584-035-78-82

POLTAX VAT-5UE: PL5840357882

IBAN: 4210901098000000009015357

kod SWIFT: WBKPLPP

Natowski Kod Podmiotu Gospodarki Narodowej NCAGE: 0409H

4. Zakres i przedmiot badań

W ramach prac badawczych zmierzono charakterystyki prądowo-napięciowe oraz wyznaczono parametry elektryczne modułów fotowoltaicznych dostarczonych przez Zleceniodawcę.

Przedmiotem badań były 2 monokrystaliczne moduły fotowoltaiczne S120/FNH/345 o mocy 345 Wp firmy Sola, które oznaczono według numerów seryjnych jako:

- 775520032202301613 – moduł nr 1,
- 775520032202301473 – moduł nr 2.

5. Metody badawcze oraz wyniki

5.1 Opis stanowiska badawczego

Stanowisko badawcze do wyznaczania parametrów elektrycznych składa się z wielkopowierzchniowego symulatora słonecznego Eternal Sun światła ciągłego, klasy AAA (zgodnie z normą IEC 60904-9:2007) o powierzchni aktywnej 1,5 x 2 m oraz układu wyznaczania charakterystyki prądowo-napięciowej Eternal Sun IV500030 PV module I-V Analysis System. Do pomiaru natężenia promieniowania służy monokrystaliczne ogniwo fotowoltaiczne ReRa Solutions, a do pomiaru temperatury czujnik rezystancyjny Pt100. Opcjonalnie stanowisko można wyposażyć w generator wiatru. Zdjęcie układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 5.1.



Rysunek 5.1 Symulator słońca klasy AAA firmy Eternal Sun

5.2 Opis procedury pomiarowej

Badania zostały podzielone na dwie części. Pierwszy etap polegał na wyznaczeniu charakterystyk prądowo-napięciowych i parametrów elektrycznych testowanych modułów w warunkach STC, a drugi w warunkach NMOT.

ETAP 1:

W pierwszym etapie charakterystyki prądowo-napięciowe modułów wyznaczono w warunkach STC (Standard Test Conditions), tj.:

- Temperatura modułu 25 [°C],
- Natężenie promieniowania 1000 [W/m²],
- Optyczna masa atmosfery AM 1.5.

Badanie prowadzono zgodnie z normą PE-EN 60904-1:2007. Każdy moduł przed pomiarem został schłodzony do temperatury $20,5 \pm 0,5$ °C w celu umożliwienia równomiernego nagrzania się podczas ekspozycji pod symulatorem. Po schłodzeniu kolejne urządzenia były układane na stole pod kątem 0° do poziomu, myte w celu usunięcia zanieczyszczeń mogących obniżyć ich moc i podłączane do układu wyznaczania charakterystyki za pomocą złączy typu MC4. Następnie po wsunięciu statywu pod symulator i osiągnięciu przez badany moduł temperatury 25°C dokonywano pomiaru za pomocą dołączonego oprogramowania. Temperatura urządzenia była mierzona na jego tylnej powierzchni w reprezentatywnym punkcie. Wykorzystane oprogramowanie wykonywało obliczenia w oparciu o formuły zawarte w normie PE-EN 60891:2010 pozwalające na korektę zmierzonych wartości do warunków STC. Charakterystykę prądowo-napięciową wykreślono trzykrotnie dla każdego modułu (w wynikach przedstawiono średnią z pomiarów).

ETAP 2:

W drugim etapie charakterystyki prądowo-napięciowe modułów wyznaczono w warunkach NMOT (Nominal Module Operating Temperature), tj.:

- Temperatura otoczenia 20 [°C],
- Natężenie promieniowania 800 [W/m²],
- Optyczna masa atmosfery AM 1.5,
- Prędkość wiatru 1 m/s.

Badanie prowadzono zgodnie z normą PE-EN 61215-2:2017. Każdy moduł przed pomiarem został schłodzony do temperatury $30 \pm 0,5$ °C w celu umożliwienia równomiernego nagrzania się podczas ekspozycji pod symulatorem. Po schłodzeniu kolejne urządzenia były układane na stole pod kątem 0° do poziomu, myte w celu usunięcia zanieczyszczeń mogących obniżyć ich moc i podłączane do układu wyznaczania charakterystyki za pomocą złączy typu MC4. Następnie po wsunięciu statywu pod symulator i osiągnięciu przez badany moduł temperatury określonej w karcie katalogowej jako NMOT (tj. 42 ± 2 °C) dokonywano pomiaru za pomocą dołączonego oprogramowania. Charakterystykę prądowo-napięciową wykreślono trzykrotnie

dla każdego modułu (w wynikach przedstawiono średnią z pomiarów). Temperatura urządzenia była mierzona na jego tylnej powierzchni w reprezentatywnym punkcie. Podczas pomiaru temperatura otoczenia w pobliżu modułu wynosiła 20 ± 2 °C, a prędkość wiatru $1,0 \pm 0,2$ m/s.

5.3 Wykaz użytych symboli

- P_{max} – moc maksymalna,
- I_{sc} – prąd zwarcia,
- V_{oc} – napięcie obwodu otwartego,
- I_{mpp} – prąd w punkcie maksymalnej mocy,
- V_{mpp} – napięcie w punkcie maksymalnej mocy,
- FF – współczynnik wypełnienia,
- η – sprawność fotokonwersji dla powierzchni całkowitej,
- $u(x)$ – standardowa niepewność pomiarowa,
- $U(x)$ – rozszerzona niepewność pomiarowa,
- k – współczynnik rozszerzenia.

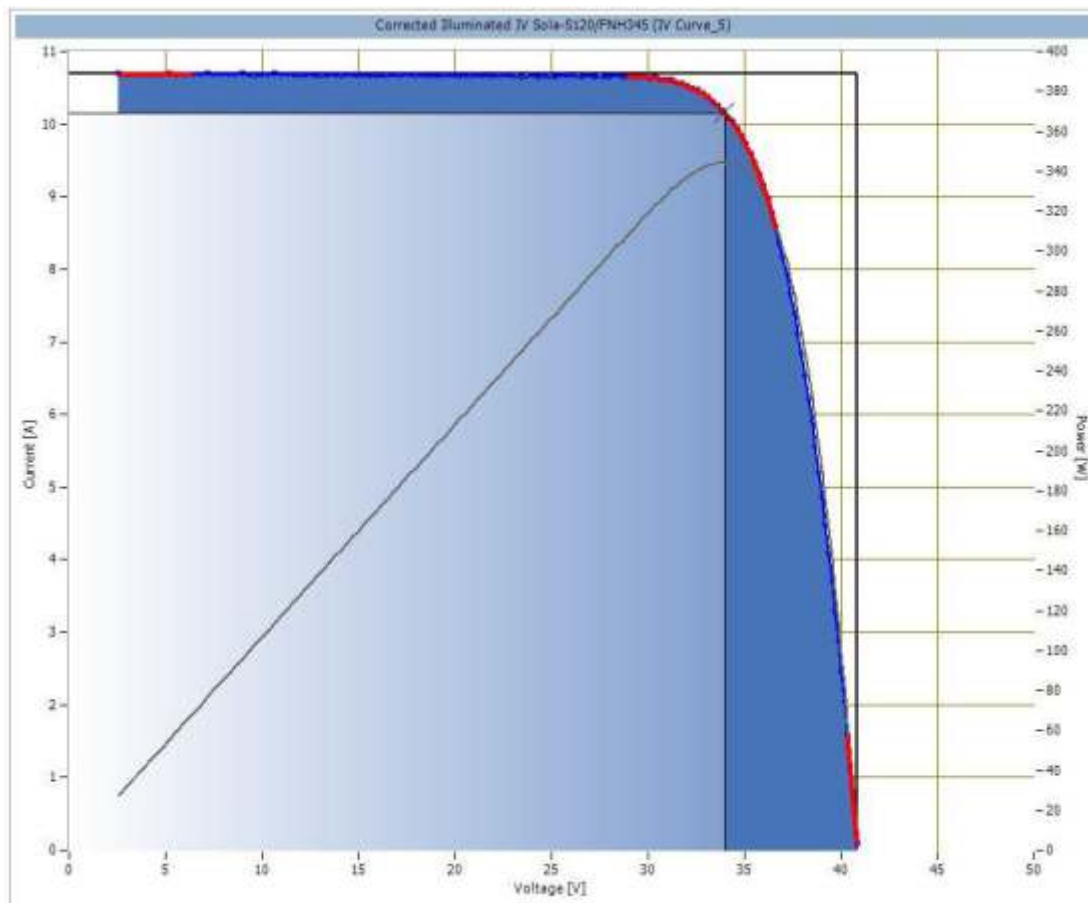
6. Wyniki i ich analiza

W tabeli 6-1 zwrócić uwagę na parametry elektryczne badanych urządzeń (średnia z 3 pomiarów), wraz z standardową i rozszerzoną ($k=2$) niepewnością pomiarową. Do obliczeń jako całkowitą powierzchnię modułu przyjęto $1,687368$ m². Pod tabelą zamieszczono zmierzone charakterystyki prądowo-napięciowe (wybrane dla jednego pomiaru).

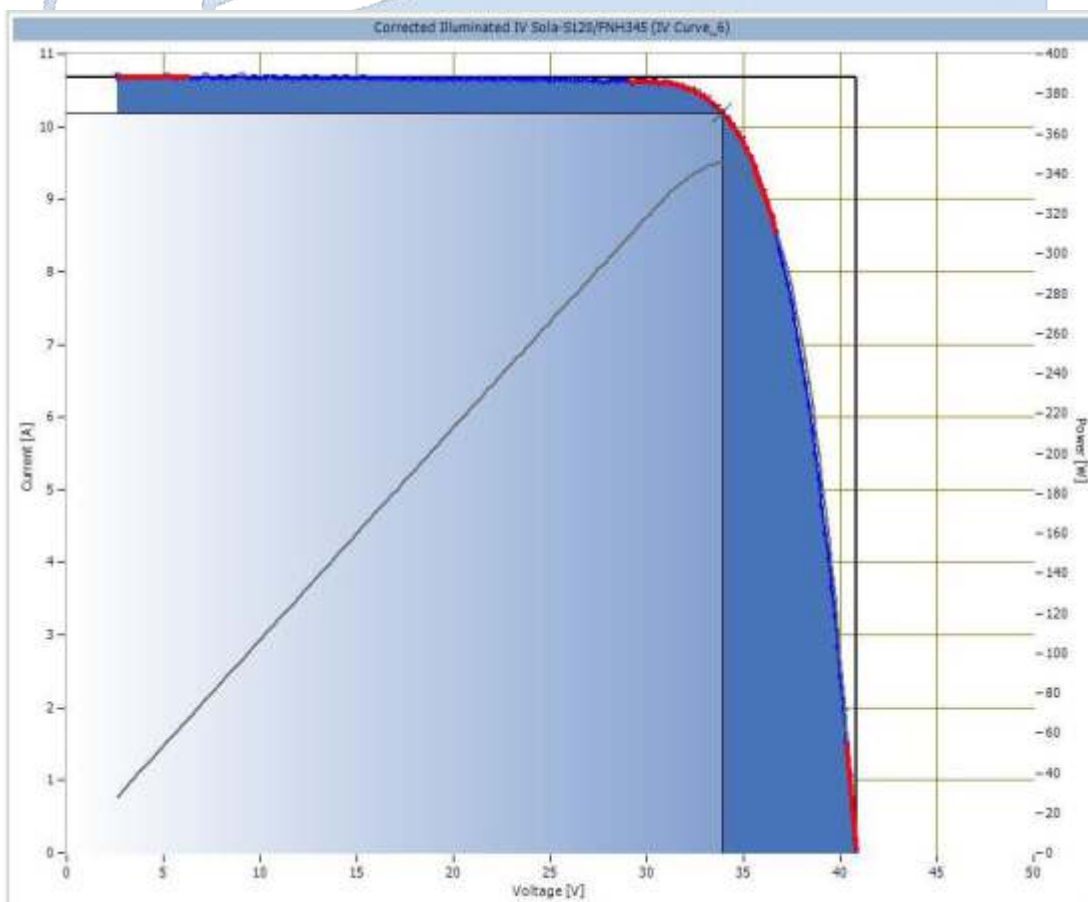
Tabela 6-1 Zestawienie parametrów elektrycznych badanych modułów w warunkach STC

L.p.	I_{sc}	V_{oc}	I_{mpp}	V_{mpp}	P_{max}	FF	η
	[A]	[V]	[A]	[V]	[W]	[%]	[%]
1	10,688	40,825	10,155	33,922	344,478	78,946	20,415
2	10,671	40,857	10,179	33,943	345,492	79,246	20,475
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
$u(x)$	1,57	0,24	1,64	0,29	1,59	0,46	1,59
$U(x)$	3,1	0,5	3,3	0,6	3,2	0,9	3,2

Parametry obu modułów są zgodne z wartościami podanymi przez producenta, szczególnie po uwzględnieniu niepewności pomiarowej laboratorium oraz tolerancji pomiaru określonej przez wytwórcę na poziomie $\pm 5\%$. Współczynnik wypełnienia (FF) wynoszący około 79% świadczy o dobrej jakości wykonania modułu.



Rysunek 6.1 Przykładowa charakterystyka prądowo-napięciowa modułu nr 1 w warunkach STC



Rysunek 6.2 Przykładowa charakterystyka prądowo-napięciowa modułu nr 2 w warunkach STC

Na charakterystykach prądowo-napięciowych obu modułów nie widać nieprawidłowości. Urządzenia odznaczają się zarówno dobrą rezystancją szeregową, jak i równoległą.

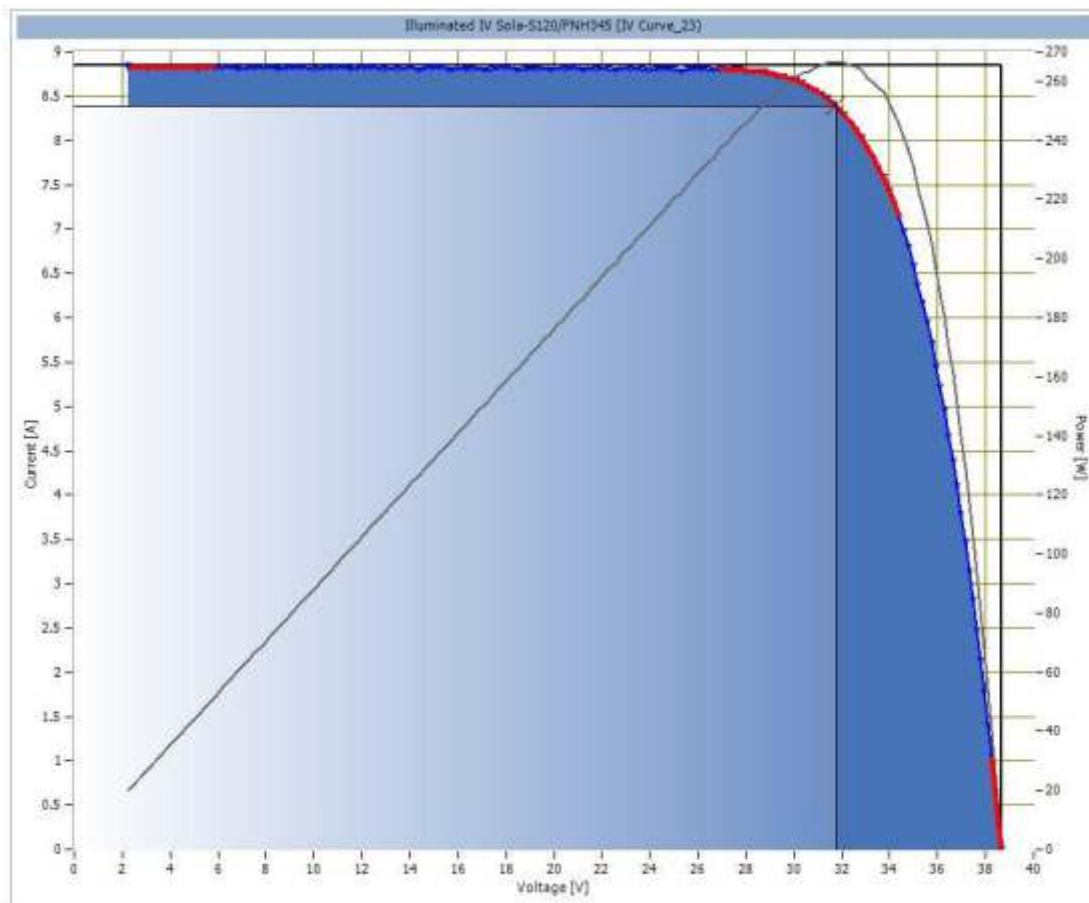
W tabeli 6-2 zwrócić uwagę na parametry elektryczne badanych urządzeń (średnia z 3 pomiarów), wraz z standardową i rozszerzoną ($k=2$) niepewnością pomiarową. Do obliczeń jako całkowitą powierzchnię modułu przyjęto $1,687368 \text{ m}^2$. Pod tabelą zamieszczono zmierzone charakterystyki prądowo-napięciowe (wybrane dla jednego pomiaru).

Tabela 6-2 Zestawienie parametrów elektrycznych badanych modułów w warunkach NMOT

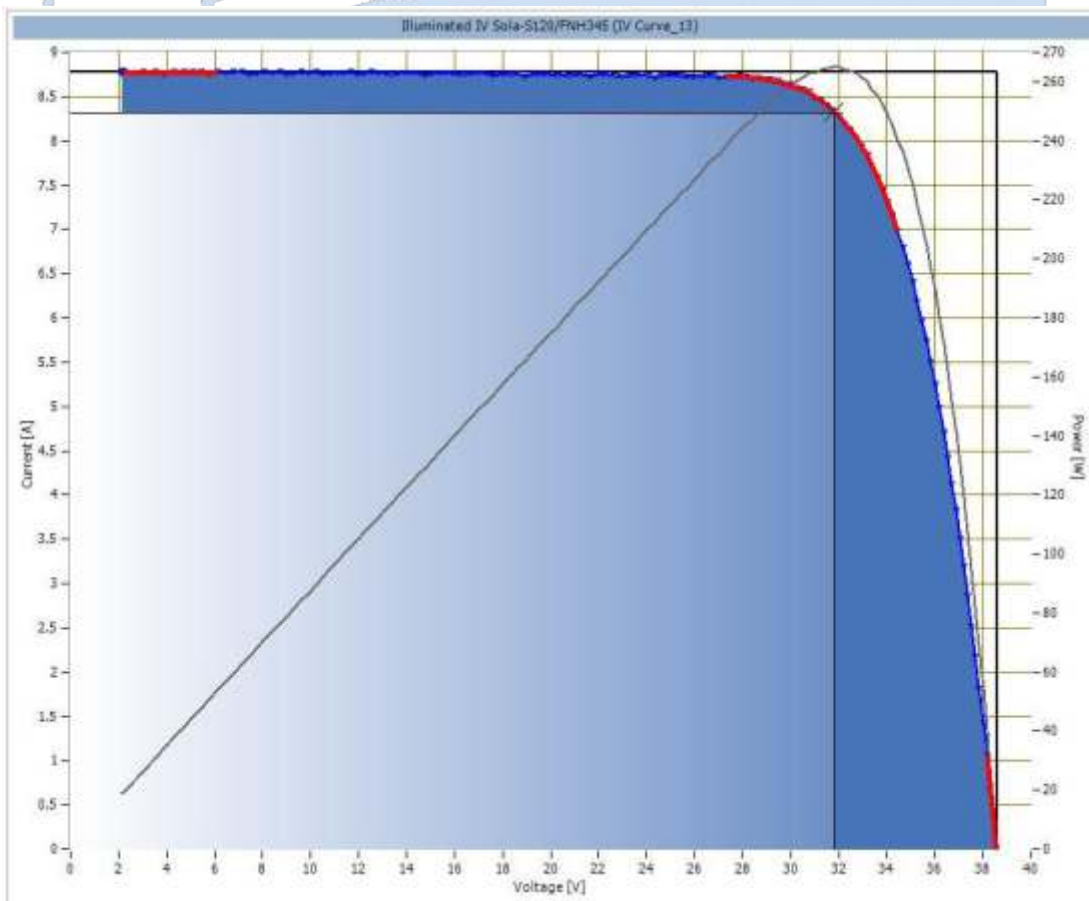
L.p.	Isc	Voc	Impp	Vmpp	Pmax	FF	η
	[A]	[V]	[A]	[V]	[W]	[%]	[%]
1	8,699	38,549	8,232	31,756	261,428	77,955	19,367
2	8,686	38,528	8,237	31,762	261,628	78,177	19,381
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
u(x)	1,58	0,55	1,65	0,57	1,67	0,85	1,68
U(x)	3,2	1,1	3,3	1,1	3,3	1,7	3,4

Parametry obu modułów są zgodne z wartościami podanymi przez producenta, szczególnie po uwzględnieniu niepewności pomiarowej laboratorium, a także szerokiego zakresu temperatur przyjętego jako NMOT. Pomiary wykonano przy temperaturze modułu równej $42 \text{ }^\circ\text{C}$ i dokonano ręcznej korekty natężenie promieniowania do 800 W/m^2 , zakładając, że przekłada się to tylko na wartość prądu zwarcia i prądu w punkcie mocy maksymalnej. Warto jednocześnie podkreślić, że w czasie badań promieniowanie nie wykraczało poza przedział $800\text{-}810 \text{ W/m}^2$, w związku z czym wpływ korekty na wynik jest nieznaczny.

GD A Ń S K



Rysunek 6.3 Przykładowa charakterystyka prądowo-napięciowa modułu nr 1 w warunkach NMOT



Rysunek 6.4 Przykładowa charakterystyka prądowo-napięciowa modułu nr 2 w warunkach NMOT

Na charakterystykach prądowo-napięciowych obu modułów nie widać nieprawidłowości. Wpływ temperatury nie przełożył się istotnie na zmianę obu krzywych.

7. Uwagi

Brak.

