

Wykorzystanie metody termowizyjnej do badania paneli fotowoltaicznych

Streszczenie: W artykule zaprezentowano podstawowe metody detekcji problemów w panelach fotowoltaicznych ze szczególnym uwzględnieniem metody termowizyjnej. Ukazane zostało jak poprawnie wykonywać badania kamerą termowizyjną oraz na co należy zwrócić uwagę podczas interpretacji otrzymanych wyników.

Słowa kluczowe: Fotowoltaika, panele fotowoltaiczne, badania termowizyjne,

Wprowadzenie

Obecnie w Unii Europejskiej obserwujemy dynamiczny rozwój fotowoltaiki, co niesie za sobą instalowanie nowych systemów do produkcji energii opartych na energii słonecznej. Podstawowym elementem takiej elektrowni jest moduł fotowoltaiczny, a jedną z istotnych kwestii jest możliwość utrzymania jego początkowych parametrów pracy przez okres użytkowania.

W celu wykrywania awarii w modułach fotowoltaicznych konieczne jest stosowanie odpowiednich metod ich detekcji oraz użycie odpowiedniego sprzętu. Na podstawie obecnie dostępnych metod wykrywania wad w panelach słonecznych naukowcy próbują znaleźć najlepsze rozwiązanie, ażeby uniknąć ewentualnych usterek powstałych w skutek ich nieprawidłowego użytkowania.

Metody badania paneli fotowoltaicznych

Obecnie istnieje kilka metod stosowanych w diagnostyce paneli słonecznych. Podstawową metodą są oględziny instalacji, a podczas wykonywania badania nie potrzeba użycia żadnego specjalnego sprzętu. Sprawdzanie instalacji następuje zgodnie ze standardami podanymi przez IEC (International Electrotechnical Commission) [1]. Metoda ta pozwala na wykrycie między innymi defektów paneli takich jak: rozwarstwienie się laminatu w module PV, dekoloryzacja panelu czy stłuczone szkło.

Kolejną metodą badania modułów fotowoltaicznych jest badanie ich charakterystyk prądowo – napięciowych (I-U characteristic). Dzięki zastosowaniu tej metody możliwe jest określenie zwarcia czy napięcia przy obwodzie otwartym, ale wymaga za to użycia specjalnego sprzętu do wykonania badań.

Inną metodą używaną do detekcji błędów w panelach PV jest metoda elektroluminescencji. Zastosowanie jej pozwala na znalezienie nawet mikro pęknięć w strukturze panelu, jednakże może być wykonywana tylko przez odpowiednio przeszkolonych specjalistów, w odpowiednich warunkach laboratoryjnych.

Następnymi metodami są: fluorescencja UV oraz metoda transmisji sygnału. Ta druga wykonywana jest, gdy system jest odłączony od pracy i umożliwia znalezienie awarii diody bocznikującej znajdującej się w puszcze przyłączeniowej panelu PV. [1]

Termografia to następny znany sposób wykrywania wad modułów słonecznych. Istnieją trzy typy technik, w których stosuje się kamerę termowizyjną. Podstawową - jest metodą, która może być stosowana w trakcie pracy systemu PV, w stanie ustalonym. Pomiar mogą być wykonywane bez zakłócania działania instalacji. Pozostałe dwie techniki to impulsowa (pulse thermography) i modulacyjna (lock-in thermography). Są one bardziej precyzyjne, ale muszą być wykonane w warunkach laboratoryjnych. Termowizja impulsowa polega na wyznaczeniu i analizie rozkładu temperatury badanej powierzchni w czasie jej stygnięcia po uprzednim równomiernym nagrzaniu impulsem cieplnym [2]. Jednakże obecnie jest to bardzo droga technika, dlatego też jej

powszechność jest ograniczona. W technice modulacyjnej wykorzystuje się teorię fal termicznych [2].

Metoda termowizyjna badania paneli fotowoltaicznych

W ostatnim czasie można zaobserwować wzrost zainteresowania termografią w sektorze odnawialnych źródeł energii, a bardziej precyzyjnie w przypadku badania instalacji fotowoltaicznych. Zastosowanie kamery termowizyjnej może pomóc w określeniu aktualnego stanu modułów fotowoltaicznych, z których zbudowana jest elektrownia słoneczna. Co więcej, ze względu na jej właściwości jest jednym z narzędzi do wykrywania obecnych oraz potencjalnych problemów w takich instalacjach. [3]

Podstawowa **metoda termowizyjna** oparta jest na zasadzie rejestrowania przez specjalną kamerę podczerwonej części widma promieniowania emitowanego przez ciało, a w dalszej kolejności przetwarzaniu go na kolorową mapę temperatur. [2] System termowizyjny umożliwia pomiar temperatury na odległość i jednocześnie na całej powierzchni badanego obiektu.

Moduł fotowoltaiczny w przypadku jednorodnego natężenia słonecznego padającego na jego powierzchnię powinien mieć jednakową temperaturę na całej powierzchni. Każdy nawet ukryty defekt w takim module może prowadzić do lokalnego wzrostu temperatury w miejscu jego wystąpienia. Nieodpowiednie chłodzenie paneli słonecznych może być również wykryte przy użyciu metody termowizyjnej (maksymalna temperatura pracy paneli wynosi 90°C). [3]

Podczas pomiarów wykonywanych kamerą termowizyjną należy zwrócić uwagę na następujące warunki [6]:

- *Badania powinny być wykonywane w bezchmurny, chłodny dzień, w czasie, gdy promieniowanie słoneczne mieści się w przedziale 600 – 700 W/m²,*
- *Promieniowanie słoneczne powinno padać na panel pod kątem prostym,*
- *Kamera termowizyjna powinna znajdować się w odległości od 2m do 3m do badanego panelu, ustawiona pod kątem 90° do jego powierzchni,*
- *materiałem do określenia emisyjności powinno być wybrane szkło.*

Kamery termowizyjne

Światowym liderami w projektowaniu, produkcji i sprzedaży wysokiej klasy kamer termowizyjnych są obecnie amerykańskie firmy FLIR Systems oraz Fluke.

W artykule opisano badania, które zostały wykonane dwiema kamerami termowizyjnymi. Pierwszą z nich była kamera FLUKE TiR32 Thermal Imager, wykonująca zdjęcia pełne o rozdzielczości 640 x 480, z możliwością zapisu zdjęć w podczerwieni. Dokonanie pomiarów możliwe jest w temperaturze mieszczącej się w przedziale -20°C and +150°C [4]. Do badań została wybrana emisyjność równa 0,92, co odpowiada wartości dla szkła. Drugą kamerą użytą do pracy było urządzenie FLIR T250. Jest to urządzenie pozwalające na wykonanie wysokiej jakości zdjęć podczerwonych o rozdzielczości 200 x 150. Integralną częścią sprzętu jest kamera światła widzialnego. Temperatura pracy mieści się w przedziale -20°C and +350°C. [5]

Badane systemy fotowoltaiczne

Badania kamerą termowizyjną zostały przeprowadzone na dwóch dachowych systemach fotowoltaicznych znajdujących się we Wrocławiu - Badawczym sieciowym systemie fotowoltaicznym (PV PWR) oraz w Magdeburgu – Grid connected photovoltaic system (Uni_MD).

Badany system fotowoltaiczny PV PWR powstał w roku 2011. Składa się z 3 typów modułów fotowoltaicznych: monokrystalicznych, polikrystalicznych i cienkowarstwowych CIGS o łącznej mocy 15,21kW. Instalacja została zamontowana na skośnym dachu jednego z budynków Politechniki Wrocławskiej. Część systemu składająca się z paneli monokrystalicznych oraz cienkowarstwowych znajduje się na tej samej stronie dachu, natomiast z powodu braku możliwości dostępnego miejsca część polikrystaliczna umiejscowiona została w innej jego części. Wszystkie części zostały połączone szeregowo-równolegle tworząc 3 bloki energetyczne. Produkowana energia prądu

IX Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2016

stałego jest przesyłana do sterowni – tablicy elektrycznej układu, a następnie przekształcana na parametry prądu przemiennego 230V przez inwertery i przesyłana do punktu istniejącego przyłącza Politechniki Wrocławskiej.[7]

System niemiecki umieszczony jest na specjalnej konstrukcji na płaskim dachu jednego z budynków Uniwersytetu w Magdeburgu. Umieszczenie systemu na konstrukcji powoduje, że panele fotowoltaiczne nachylone są do poziomu dachu pod kątem 45°. Składa się również z trzech różnych rodzajów paneli słonecznych: polikrystalicznych, monokrystalicznych oraz technologii cienkowarstwowej CIGS. Część instalacji oparta na technologiach krystalicznych powstała w roku 2003, natomiast część oparta na modułach cienkowarstwowych w roku 2005. Całkowita moc systemu jest równa 5,45kW, a produkowana energia przesyłana jest do sieci.

Pomiary zostały wykonane podczas normalnej pracy systemów bez konieczności przerwy w ich działaniu. Z tego też względu narażone były na działanie aktualnie panujących warunków atmosferycznych. W przypadku wrocławskiej instalacji pomiary wykonane zostały w sierpniowy bezchmurny dzień w godzinach porannych. Warunki pogodowe zarejestrowane przez stację pogodową dołączoną do systemu opisane są w tabeli 1. Badania instalacji niemieckiej zostały przeprowadzone w pochmurny sierpniowy dzień w godzinach popołudniowych, a temperatura powietrza nie przekraczała 24°C.

Tabela 1. Warunki pogodowe w dniu 11-08-2015 – system PV PWr.

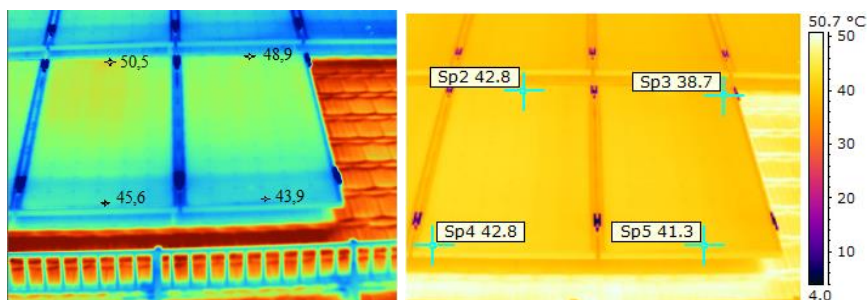
2015-08-11 Godz: 10:45	nasłonecznienie [W/m ²]	prędkość wiatru [m/s]	temperatura otoczenia [°C]
MONO	710	0,74	26,0
POLY	226	0,32	21,2
CIGS	655	0,87	28,1

Parametry pogodowe zarejestrowane przez stację pogodową dedykowaną dla części polikrystalicznej wrocławskiej instalacji różniły się zdecydowanie od pozostałych dwóch części systemu, ze względu na umiejscowienie ich na innej części dachu budynku.

Wyniki badań

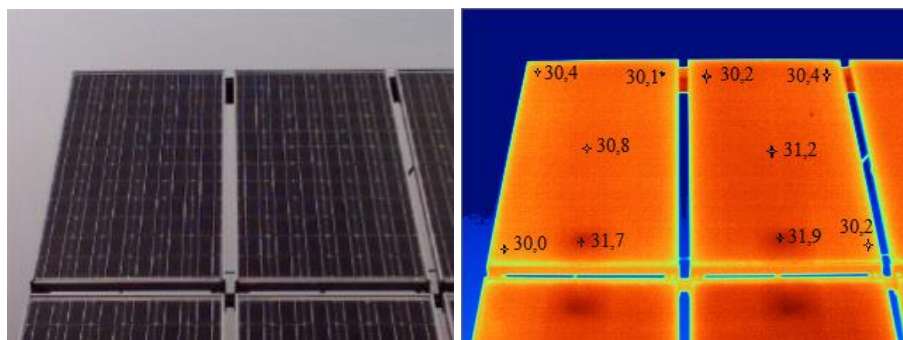
Ogólnie, rejestrowane temperatury modułów umieszczonych na dachu Uniwersytetu w Magdeburg były niższe niż dla modułów zamontowanych w Polsce. Jednakże warunki pogodowe podczas pomiarów wykonanych przez kamerę Fluke - 11 lipca i 17 sierpnia różniły się. Temperatura otoczenia była w przybliżeniu taka sama, ale wartość nasłonecznienia była inna. To spowodowało, że moduły fotowoltaiczne w Polsce były mocniej ogrzane.

Jeżeli mierzona temperatura modułów była wyższa, zaobserwowane różnice pomiędzy skrajnymi temperaturami na powierzchni badanych paneli były również większe (Rys.1). Taka informacja może być użyteczna przy okazji badań związanych z nagrzewaniem modułów słonecznych. Korzystniej jest wykonywać je w przypadku, gdy temperatura otoczenia jest wyższa, jednak na podstawie otrzymanych rezultatów niemożliwe jest określenie dokładnie jaka jest jej optymalna wartość.



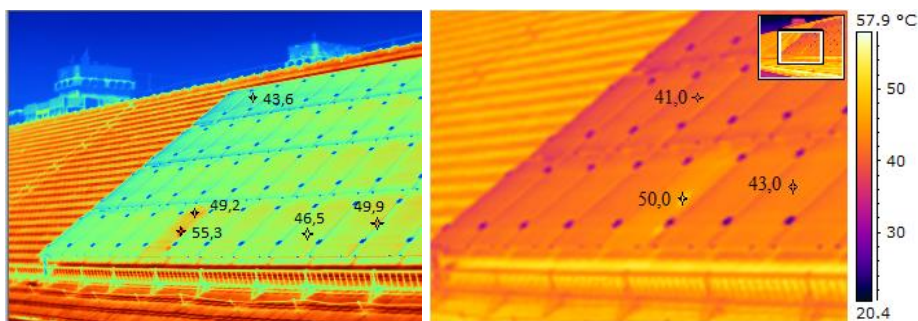
Rys. 1. Zdjęcia termowizyjne paneli fotowoltaicznych części monokrystalicznej systemu PV PWr wykonane kamerą Fluke (po lewej) oraz Flir (po prawej).

Wzrost temperatury widoczny w pewnych miejscach paneli monokrystalicznych, pokazany na rysunku 2, związany jest z występowaniem puszek przyłączeniowych danych paneli, znajdujących się po tylnej ich stronie. W przypadku paneli opartych na technologiach krystalicznych nie zaobserwowano szczególnych oznak błędów w badanych modułach.



Rys. 2. Zdjęcia wizyjne (po lewej) i termowizyjne (po prawej) paneli fotowoltaicznych części monokrystalicznej systemu Uni MD wykonanej kamerą Fluke.

Badania przeprowadzone na technologii cienkowarstwowej, w przypadku systemu PV PWr widoczne były nadzwyczajne wzrosty temperatury w pewnych miejscach, co pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Zdjęcia termowizyjne paneli CIGS system PV PWr wykonane kamerą Fluke (po lewej) oraz Flir (po prawej).

IX Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2016

Ze względu na umiejscowienie paneli cienkowarstwowych na dachu, nie było możliwe zrobienie zdjęć z bliższej odległości. Z tej perspektywy zdjęcia wykonane przez tego typu kamery nie są najbardziej dokładne, ale już wystarczające, aby zaobserwować ewentualne zmiany w badanych elementach. Rozkład temperatury uzyskany przez dwa urządzenia termowizyjne był bardzo podobny, z tendencją do wyższej temperatury mierzonej przez kamerę Fluke. Co więcej, w obu przypadkach widoczna była inna wartość temperatury na jednym z paneli w najniższym rzędzie (Rys. 3). Praktycznie, powierzchnia całego modułów odznacza się wyższą temperaturą niż reszta modułów w bloku, ale szczególnie po prawej jego stronie widoczne jest, że wartość temperatury jest znacznie wyższa. Wzrost jej wartości w najgorętszych miejscach uszkodzonego modułu przekraczał 10°C w porównaniu z miejscami o najniższej zmierzonej temperaturze dla tego bloku.

Wnioski

Dokładność otrzymanych zdjęć zależy od wielu czynników i mogłaby być lepsza. Dla przykładu:

- kamera termowizyjna stosowana do realizacji zadania (Fluke) nie jest typem kamery dedykowanym do zdjęć paneli PV, a bardziej używanym w budownictwie
- delikatny ruch rąk podczas robienia zdjęć mógł również mieć wpływ na jakość otrzymanych zdjęć
- ustawienie kamery nie odbywało się dokładnie prostopadle do całej powierzchni badanych paneli PV

Co więcej, wpływ na uzyskane rezultaty miały również parametry obu użytych urządzeń. Wszystko to ukazuje jak istotny jest wybór odpowiedniego urządzenia do przeprowadzenia tego rodzaju badań.

Otrzymane zdjęcia pokazują, że uzyskane wyniki są realne, a temperatury zgodne z temperaturami mierzonymi przez czujniki stacji pogodowych zainstalowany w badanych systemach.

Kolejną trudnością był fakt, że pomiary wykonane zostały na zewnątrz co powoduje, że narażone były na brak jednolitego nasłonecznienia. Jednakowe warunki mogą zostać uzyskane podczas eksperymentów laboratoryjnych. Jednak przeprowadzenie badań laboratoryjnych w warunkach idealnych jest również swego rodzaju wadą, gdyż na co dzień panele narażone są na zmienne warunki otoczenia i wyniki uzyskane w ten sposób są nie do końca odzwierciedlające rzeczywistość. Zaletą testów laboratoryjnych jest zbadanie panelu w sposób dokładniejszy co jest pomocne w określeniu czy dany panel uległ uszkodzeniu czy nie.

Bibliografia

1. Review of Failures of Photovoltaic Modules, Report IEA-PVPS T13-01:2014
2. Szczepanik M., Stabik J., Wróbel G., Wierzbicki Ł., *Wykorzystanie systemów termowizyjnych do badań materiałów polimerowych*
3. Energia odnawialna OZE: fotowoltaika, energia wiatru, kolektory solarne, <http://pro-sun.pl/>
4. Fluke, thermal Imagers Ti32 & TIR3, Users Manual
5. FLIR T250 infrared camera, [http://www.yeint.fi/files/products/FLIR T250](http://www.yeint.fi/files/products/FLIR_T250)
6. Kamera termowizyjna w fotowoltaice, www.globenergia.pl
7. Herlender K., Rezmer J., *Badawczy system fotowoltaiczny*, Przegląd Elektrotechniczny. 2012, R. 88, nr 12a, s. 178-180

Autor: mgr inż. Justyna Herlender; Katedra Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej, Wyb. St. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, e-mail: justyna.herlender@pwr.edu.pl