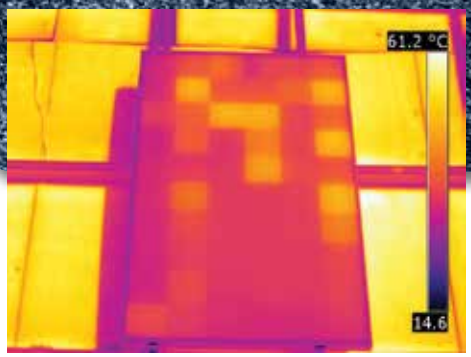
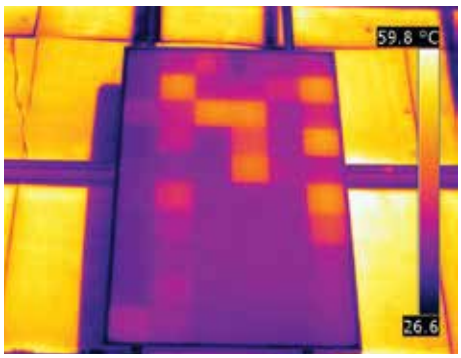
Kamery termowizyjne: szybki i niezawodny sposób testowania paneli słonecznych.

Zapewnienie jakości ma fundamentalne znaczenie dla paneli słonecznych. Bezawaryjność paneli jest wstępnym warunkiem efektywnego wytwarzania energii, długiego okresu eksploatacji i wysokiego zwrotu z inwestycji. Aby zapewnić bezawaryjne działanie, wymagana jest szybka, prosta i niezawodna metoda oceny wydajności paneli słonecznych, zarówno podczas procesu produkcji, jak i po ich zainstalowaniu.

Wykorzystanie kamer termowizyjnych do oceny działania paneli zapewnia kilka korzyści. Nieprawidłowości są bez problemu widoczne na wyraźnym obrazie termowizyjnym i – w przeciwieństwie do większości innych metod – kamer termowizyjnych można użyć do skanowania zainstalowanych paneli słonecznych podczas normalnego działania. Kamery termowizyjne pozwalają także skanować duże obszary w krótkim czasie.





Termogram z poziomem i zakresem w trybie automatycznym (powyżej) i w trybie ręcznym (poniżej).

W dziedzinie badań i rozwoju kamery termowizyjne są już uznanym narzędziem oceny ogniw i paneli słonecznych. Do tych zaawansowanych pomiarów zwykle używane są, w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych, kamery o wysokich parametrach z chłodzonymi detektorami.

Jednak stosowanie kamer termowizyjnych do oceny paneli słonecznych nie ogranicza się tylko do badań naukowych. Niechłodzone kamery termowizyjne są obecnie coraz częściej używane do kontroli jakości paneli słonecznych przed zainstalowaniem oraz do regularnego utrzymania ich w ruchu po ich zainstalowaniu. Te niedrogie kamery są lekkie i przenośne, co pozwala na dowolne ich wykorzystanie w terenie.

Za pomocą kamery termowizyjnej można wykryć miejsca potencjalnych problemów i naprawić je przed faktycznym wystąpieniem awarii. Jednak nie każda kamera termowizyjna nadaje się do kontroli ogniw słonecznych. Istnieją pewne zasady i wytyczne, które muszą być przestrzegane w celu przeprowadzenia efektywnej kontroli i wyciągnięcia prawidłowych wniosków. Przykłady w tym artykule są oparte na modułach fotowoltaicznych z krystalicznymi ogniwami słonecznymi, jednak te zasady i wytyczne dotyczą także kontroli termograficznej modułów cienkowarstwowych, ponieważ podstawowe koncepcje termografii są takie same.

PROCEDURY KONTROLI PANELI SŁONECZNYCH ZA POMOCĄ KAMER TERMOWIZYJNYCH

W procesie rozwoju i produkcji ogniwa słoneczne są aktywowane elektrycznie lub przy użyciu lamp błyskowych. Zapewnia to wystarczający kontrast termiczny do dokładnych pomiarów termograficznych. Tej metody nie można stosować do testowania paneli słonecznych w terenie, więc operator musi zapewnić wystarczającą ilość światła słonecznego.

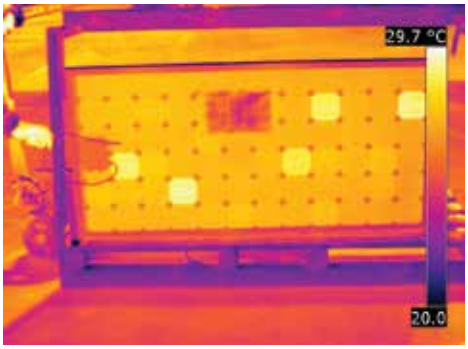
Aby osiągnąć wystarczający kontrast termiczny podczas kontroli ogniw słonecznych w terenie, potrzebne jest napromieniowanie słoneczne 500 W/m² lub wyższe. W celu osiągnięcia najlepszych wyników zalecane jest napromieniowanie słoneczne na poziomie 700 W/m². Napromieniowanie słoneczne określa moc chwilową na powierzchni w jednostkach kW/m², która może być zmierzona piranometrem (w przypadku globalnego napromieniowania słonecznego) lub pirheliometrem (w przypadku bezpośredniego napromieniowania słonecznego). Zależy ono w dużym stopniu od miejsca i lokalnych warunków pogodowych. Kontrast termiczny mogą również zwiększać niskie temperatury zewnętrzne.

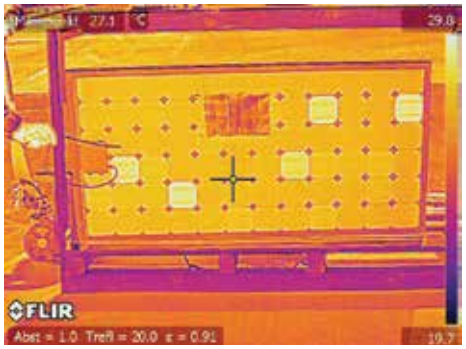
JAKI RODZAJ KAMERY JEST POTRZEBNY?

Ręczne kamery termowizyjne do kontroli prognostycznych mają zazwyczaj niechłodzony detektor mikrobolometryczny reagujący na długości fal 8–14 µm. Jednak szkło nie jest przezroczyste w tym zakresie. Gdy ogniwa słoneczne są kontrolowane z przodu, kamera termowizyjna widzi rozkład ciepła na powierzchni szkła, ale tylko pośrednio rozkład ciepła w ogniwach pod spodem. W związku z tym różnice temperatur, które można zmierzyć i zobaczyć na szklanej powierzchni panelu słonecznego, są małe. Aby różnice te były widoczne, kamera termowizyjna używana do tych kontroli musi mieć czułość termiczną ≤ 0,08 K. Aby wyraźnie ukazać małe różnice temperatur na obrazie termowizyjnym, kamera powinna również umożliwiać ręczną regulację poziomu i zakresu.

Moduły fotowoltaiczne są zwykle montowane na wysoce odblaskowym szkielecie aluminiowym, który na obrazie termowizyjnym jest widoczny jako zimny obszar, ponieważ odbija promieniowanie cieplne emitowane przez niebo. W praktyce oznacza to, że kamera termowizyjna rejestruje temperaturę szkieletu jako znacznie poniżej 0°C. Ponieważ wyrównanie histogramu kamery termowizyjnej automatycznie dostosowuje się do maksymalnej i minimalnej zmierzonej temperatury, wiele małych anomalii termicznych nie będzie widocznych od razu. Aby uzyskać obraz termiczny o wysokim kontraście, konieczna jest ciągła ręczna korekta poziomu i zakresu.

Rozwiązaniem jest funkcja nosząca nazwę DDE (Digital Detail Enhancement – cyfrowe wzmocnienie szczegółów). DDE automatycznie optymalizuje kontrast obrazu w polach o wysokim zakresie dynamicznym, a obrazu termowizyjnego nie trzeba dostosowywać ręcznie. Kamera termowizyjna z funkcją DDE doskonale nadaje się więc do szybkiej i precyzyjnej kontroli paneli słonecznych.





Obraz termowizyjny bez DDE (po lewej) i z DDE (po prawej).

PRZYDATNE FUNKCJE

Inną przydatną funkcją kamery termowizyjnej jest oznaczanie obrazów termowizyjnych danymi GPS. Pomaga to zlokalizować wadliwe moduły na dużych obszarach, np. na farmach słonecznych, a także powiązać obrazy termowizyjne z urządzeniami, np. w raportach.

Kamera termowizyjna powinna mieć wbudowany aparat cyfrowy, aby skojarzony obraz (zdjęcie cyfrowe) mógł być zapisany z powiązanym obrazem termowizyjnym. Przydatny jest również tzw. tryb łączenia, który umożliwia nakładanie zdjęć i obrazów termicznych. Komentarze tekstowe i głosowe, które mogą być zapisane w kamerze wraz z obrazami termowizyjnymi, stanowią dodatkową korzyść w przypadku raportowania.

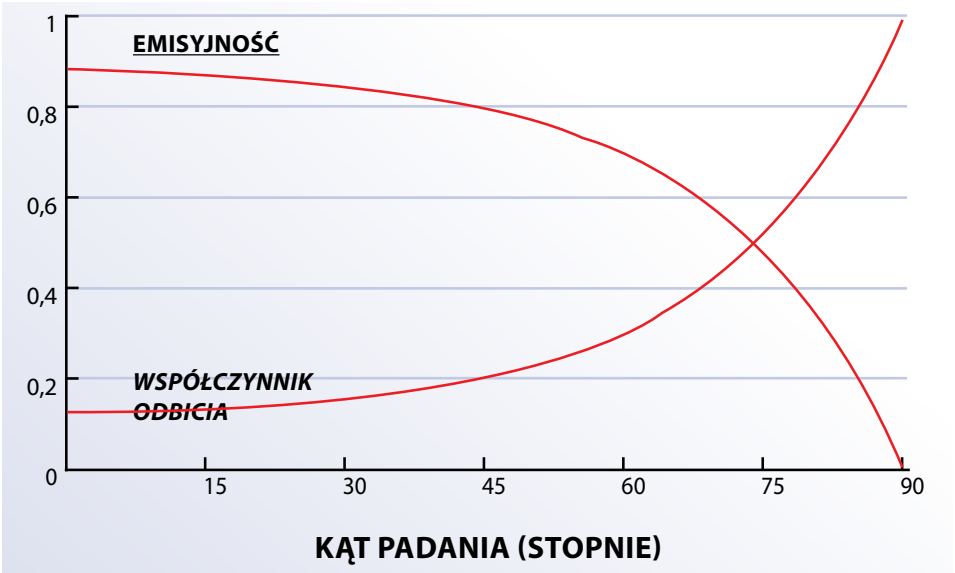
USTAWIENIE KAMERY: NALEŻY WZIĄĆ POD UWAGĘ ODBICIA I EMISYJNOŚĆ

Chociaż szkło ma emisyjność 0,85–0,90 w pasmie częstotliwości 8–14 µm, pomiary termowizyjne na powierzchniach szklanych nie są łatwe. Odbicia szkła są lustrzane, co oznacza, że okoliczne obiekty o różnych temperaturach mogą być wyraźnie widoczne na obrazie termowizyjnym. W najgorszym przypadku powoduje to błędy interpretacji (fałszywe „gorące punkty") i błędy pomiarowe.

W celu uniknięcia odbicia kamery termowizyjnej i operatora w szkle nie można jej umieszczać prostopadle do kontrolowanego modułu. Emisyjność jest jednak najwyższa, gdy kamera jest prostopadła, i zmniejsza się wraz z rosnącym kątem. Kąt widzenia 5–60° stanowi dobry kompromis (0° to kąt prostopadły).

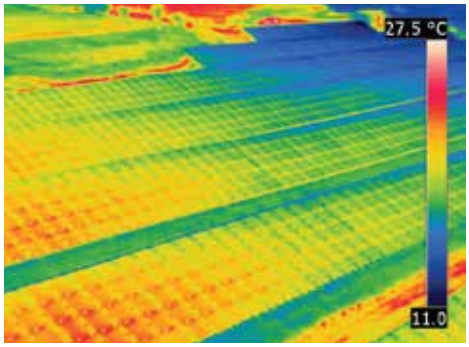
OBSERWACJE Z DUŻEJ ODLEGŁOŚCI

Nie zawsze można łatwo osiągnąć odpowiedni kąt widzenia podczas wykonywania pomiaru. W większości przypadków użycie statywu rozwiązuje problem. W trudniejszych warunkach konieczne może być użycie mobilnych platform roboczych lub nawet przelot helikopterem nad ogniwami słonecznymi. W takich przypadkach



Zależność kąta od emisyjności szkła

Zalecany kąt widzenia (zielony) i kąt, którego należy unikać (czerwony), podczas kontroli termograficznych.



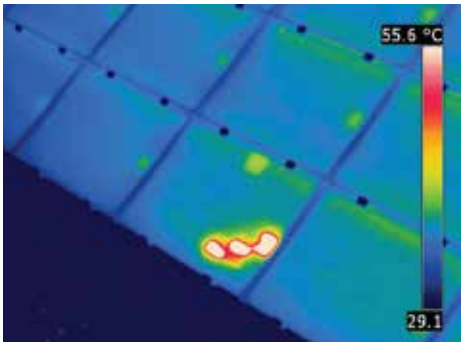
W celu uniknięcia fałszywych wniosków podczas kontroli paneli słonecznych kamera termowizyjna powinna być ustawiona pod odpowiednim kątem.

większa odległość od celu może być korzystna, ponieważ większy obszar można sprawdzić w jednym przebiegu. Aby zapewnić odpowiednią jakość obrazu termowizyjnego, do większych odległości należy użyć kamery termowizyjnej o rozdzielczości min. 320 × 240 pikseli – najlepiej 640 × 480 pikseli.

Kamera powinna mieć również wymienny obiektyw, aby operator mógł zastosować teleobiektyw w celu prowadzenia obserwacji z daleka, np. z helikoptera. Wskazane jest jednak używanie teleobiektywów tylko w kamerach termowizyjnych, które mają wysoką rozdzielczość obrazu. Kamery termowizyjne o niskiej rozdzielczości nie będą mogły rejestrować małych szczegółów termicznych, które wskazują na wady paneli słonecznych, przy pomiarach z dużej odległości z użyciem teleobiektywu.

PATRZĄC Z INNEJ PERSPEKTYWY

W większości przypadków zainstalowane moduły fotowoltaiczne mogą być kontrolowane kamerą termowizyjną od tyłu modułu. Metoda ta minimalizuje zakłócające odbicia słońca i chmur. Ponadto temperatury zmierzone z tyłu mogą być wyższe, ponieważ ogniwo jest mierzone bezpośrednio, a nie przez szklaną powierzchnię.



Obraz termowizyjny uzyskany kamerą FLIR P660 podczas przelotu nad farmą słoneczną (termogram udostępniony przez Evi Müllers, IMM).

WARUNKI OTOCZENIA I POMIAROWE

Podczas kontroli termograficznych niebo powinno być bezchmurne, ponieważ chmury zmniejszają natężenie promieniowania słonecznego, a także powodują zakłócenia poprzez odbicia. Obrazy dostarczające informacji można jednak uzyskać nawet przy zachmurzonym niebie, pod warunkiem że kamera termowizyjna jest wystarczająco czuła. Najbardziej sprzyjające są stałe warunki pogodowe, ponieważ każdy przepływ powietrza na powierzchni modułu fotowoltaicznego powoduje chłodzenie konwekcyjne i tym samym zmniejsza gradient temperatury. Im niższa temperatura powietrza, tym wyższy potencjalny kontrast termiczny. Dobrym rozwiązaniem może być wykonywanie kontroli termograficznych wczesnym rankiem.

Innym sposobem zwiększenia kontrastu termicznego jest odłączenie ogniw od obciążenia, aby zapobiec przepływowi prądu, co umożliwi ogrzanie przez samo natężenie promieniowania słonecznego. Następnie należy podłączyć obciążenie i obserwować ogniwa w fazie nagrzewania.

W normalnych warunkach system powinien być jednak kontrolowany podczas standardowej pracy, a mianowicie pod obciążeniem. W zależności od typu ogniwa i rodzaju usterki lub awarii pomiary w warunkach bez obciążenia lub zwarciowych mogą dostarczyć dodatkowych informacji.

BŁĘDY POMIAROWE

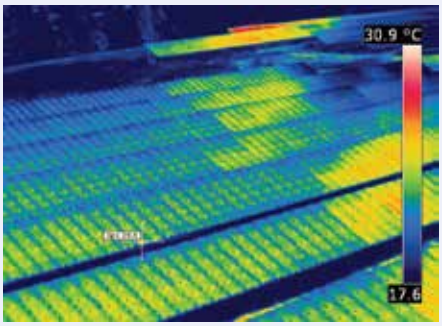
Błędy pomiarowe wynikają przede wszystkim ze złego ustawienia kamery oraz nieoptymalnych warunków otoczenia i pomiarowych. Typowe błędy pomiarowe są spowodowane przez:

- zbyt mały kąt widzenia,
- zmianę natężenia promieniowania słonecznego (np. z powodu zmiennego zachmurzenia),
- odbicia (np. słońca, chmur, sąsiednich budynków o większej wysokości, z powodu złej konfiguracji pomiarowej),
- częściowe zacienienie (np. przez sąsiednie budynki lub inne struktury).

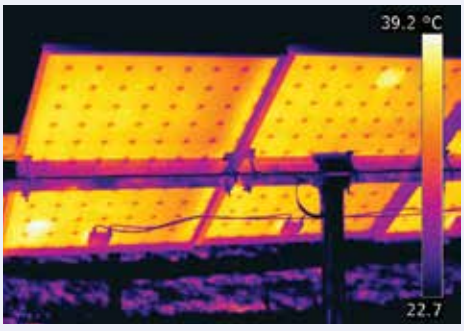
CO WIDAĆ NA OBRAZIE TERMOWIZYJNYM?

Gdy pewne części panelu słonecznego są cieplejsze niż inne, ciepłe obszary na obrazie termowizyjnym widać wyraźnie. W zależności od kształtu i lokalizacji te gorące punkty i obszary mogą wskazywać na różne usterki. Jeśli cały moduł jest cieplejszy niż zwykle, może to wskazywać problemy z połączeniami. Jeśli pojedyncze ogniwa lub ciągi ogniw są wyświetlane jako gorące miejsca lub cieplejsza „mozaika", przyczyną zwykle są wadliwe diody obejściowe, zwarcie wewnętrzne lub niezgodność ogniw.

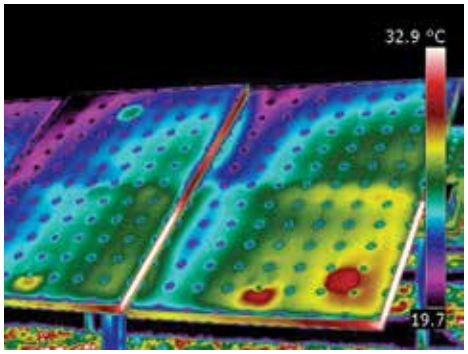
Cieniowanie i pęknięcia w ogniwach na obrazie termowizyjnym są przedstawione jako gorące punkty lub kształty wieloboczne. Wzrost temperatury ogniwa lub części ogniwa wskazuje na wadliwe ogniwo lub cieniowanie. Obrazy termowizyjne uzyskane w



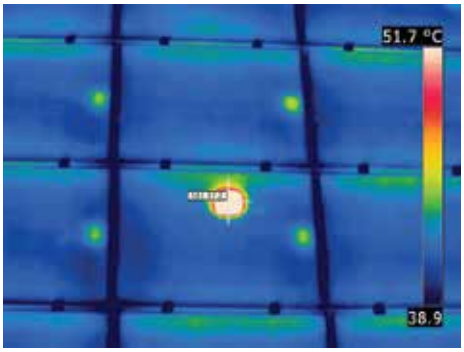
Ten obraz termowizyjny pokazuje duże obszary o podwyższonych temperaturach. Bez dodatkowych informacji nie jest oczywiste, czy są to anomalie termiczne, czy zacienienia/ odbicia.



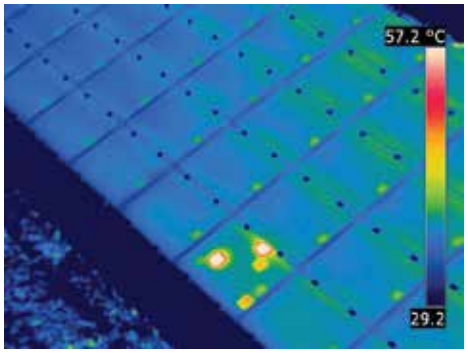
Obraz termowizyjny tyłu modułu słonecznego – kamera FLIR P660. Po prawej stronie znajduje się jego zdjęcie.



Czerwone plamy wskazują moduły, które są stale cieplejsze niż reszta, co wskazuje na wadliwe połączenia.



Gorący punkt w jednym ogniwie słonecznym oznacza fizyczne uszkodzenie wewnątrz ogniwa.



Na tym obrazie termowizyjnym pokazano przykład tzw. „mozaiki," która wskazuje, że ten panel ma wadliwą diodę obejściową.

warunkach pod obciążeniem, bez obciążenia i przy zwarciu powinny zostać porównane. Porównanie obrazów termicznych przedniej i tylnej powierzchni modułu może również dostarczyć cennych informacji. Oczywiście w celu poprawnej identyfikacji awarii moduły wykazujące anomalie trzeba również przetestować elektrycznie i skontrolować wzrokowo.

Typ błędu	Przykład	Pojawia się na obrazie termowizyjnym jako
Wada produkcyjna	Zanieczyszczenia i kieszenie gazowe	„Gorący punkt" lub „zimny punkt"
	Pęknięcia w ogniwach	Podgrzewanie ogniw, głównie wydłużona forma
Uszkodzenie	Pęknięcia	Podgrzewanie ogniw, głównie wydłużona forma
	Pęknięcia w ogniwach	Część ogniwa wydaje się cieplejsza
Tymczasowe zacienienie	Zanieczyszczenie	Gorące punkty
	Ptasie odchody	
	Wilgotność	
Wadliwa dioda obejściowa (powoduje zwarcia i zmniejsza ochronę obwodu)	nd.	„Mozaika"
Wadliwe połączenia	Moduł lub ciąg modułów niepodłączone	Moduł lub ciąg modułów stale cieplejsze

Tabela 1: Lista typowych błędów modułu (źródło: ZAE Bayern e.V, „Überprüfung der Qualität von Photovoltaik-Modulen mittels Infrarot-Aufnahmen" [„Testowanie jakości modułów fotowoltaicznych za pomocą obrazowania w podczerwieni"], 2007)

WNIOSKI

Kontrola termograficzna systemów fotowoltaicznych pozwala na szybką lokalizację ewentualnych wad na poziomie ogniw i modułów, jak również wykrycie możliwych problemów z połączeniami elektrycznymi. Kontrole przeprowadzane są w normalnych warunkach eksploatacji i nie wymagają wyłączenia systemu.

W celu uzyskania prawidłowych obrazów termowizyjnych dostarczających informacji należy przestrzegać określonych warunków i procedur pomiarowych:

- należy stosować odpowiednią kamerę termowizyjną z pasującymi akcesoriami;
- wymagane jest wystarczające natężenie promieniowania słonecznego (co najmniej 500 W/m² – preferowane powyżej 700 W/m²);
- kąt widzenia musi mieścić się w marginesie bezpieczeństwa (między 5° a 60°);
- należy zapobiegać zacienieniu i odbiciom.

Kamery termowizyjne są używane przede wszystkim do lokalizowania wad. Klasyfikacja i ocena wykrytych nieprawidłowości wymaga dobrego zrozumienia technologii słonecznej, znajomości kontrolowanego systemu oraz dodatkowych pomiarów elektrycznych. Niezbędna jest oczywiście odpowiednia dokumentacja, która powinna zawierać wszystkie warunki kontroli, dodatkowe pomiary i inne istotne informacje.

Korzystanie z kamery termowizyjnej – począwszy od kontroli jakości na etapie instalacji, po regularne kontrole – zapewnia kompleksowe i proste monitorowanie stanu systemu. Pomaga to utrzymać sprawność paneli słonecznych i przedłużyć okres ich użytkowania. Używanie kamer termowizyjnych do kontroli paneli słonecznych radykalnie zwiększa zwrot z inwestycji firmy.

Aby uzyskać więcej informacji, należy odwiedzić stronę www.flir.com lub skontaktować się z firmą:

FLIR Commercial Systems B.V.
Charles Petitweg 21
4847 NW Breda – Holandia
tel. : +31 (0) 765 79 41 94
faks : +31 (0) 765 79 41 99
e-mail : flir@flir.com
www.flir.com

T820228 (PL_pl)_A