

Inspectie van PV-systemen met behulp van infrarood-fotografie

N.J.C.M. van der Borg ⁽¹⁾; J.A. Eikelboom ⁽¹⁾; E.B.M. Visser ⁽²⁾

⁽¹⁾ EnergieonderzoekCentrum Nederland; Petten

⁽²⁾ NUON Duurzame Energie

Inleiding

Defecten in PV-systemen kunnen niet altijd eenvoudig opgemerkt worden. Bij grotere systemen kunnen problemen met een deel van het systeem tot een lagere energieopbrengst leiden, maar als de opbrengst achterblijft bij de verwachting kan niet altijd de conclusie getrokken worden dat er technische problemen zijn. Afwijkend elektrisch gedrag van PV-modules resulteert in temperatuursverschillen die met infrarood-fotografie zichtbaar zijn te maken. Een aantal verschillende PV-systemen is geïnspecteerd om de bruikbaarheid van infrarood-fotografie te bepalen voor een snelle probleemsigalering.

Toepassing van thermografie voor PV-modules

Als een PV-module in thermisch evenwicht is met de omgeving heeft de module een zodanige temperatuur dat het opgenomen vermogen door de instraling gelijk is aan het afgegeven vermogen. De vermogensafgifte gebeurt via de volgende mechanismen:

- warmtegeleiding naar de randen van de module,
- convectie van warmte (door natuurlijke "trek" en door wind),
- warmtestraling en
- door de module geleverd elektrisch vermogen.

Als identieke modules onder identieke condities toegepast worden zullen eventuele verschillen in het geleverde elektrisch vermogen aanleiding geven tot temperatuursverschillen. Geringe verschillen in de oriëntatie en ventilatie kunnen echter ook temperatuursverschillen veroorzaken. Tevens wordt de module-temperatuur beïnvloed door de positie van de module in het gehele array vanwege de stromingsrichting van de opwarmende lucht (convectie). Om de bruikbaarheid van temperatuursverschillen als graadmeter voor het elektrisch gedrag van de module te onderzoeken zijn een aantal experimenten uitgevoerd. Daarbij is gebruik gemaakt van thermografie (infrarood opnames) om informatie te verkrijgen over de temperatuurverdeling van modules in een array.

De spectrale verdeling van infraroodstraling hangt sterk af van de temperatuur van het oppervlak van de PV-module. Door met een infrarood-camera de afgestraalde energie te meten in een bepaald golflengtegebied (bijvoorbeeld van 7.5 tot 13 μm) kan informatie over de temperatuur verkregen worden. Voor een exacte meting van de temperatuur is daarbij kennis van de (richtingsafhankelijke) emissiecoëfficiënt nodig. Behalve de infrarode straling die door de module uitgezonden wordt registreert de camera ook infrarode straling vanuit de omgeving die door de module in de richting van de camera gereflecteerd wordt. Ook deze (richtingsafhankelijke) reflectie moet in rekening gebracht worden bij het vaststellen van de temperatuur aan de hand van infrarood opnames. De emissiecoëfficiënt is laag bij kleine hoeken (dat wil zeggen als de module onder een hoek van 45° of nog schuiner waargenomen wordt) en de reflectiecoëfficiënt is dan juist hoog. De beste resultaten kunnen daarom verwacht worden bij een goed zicht op de modules en bij lage convectieverliezen, dus bij lage windsnelheden.

In de praktijk zijn emissie- en reflectiecoëfficiënten zelden goed bekend. Gebruik van default waarden levert daarom slechts een benadering van de werkelijke temperatuur op. Om deze redenen is geen poging ondernomen om het elektrisch gedrag van modules in absolute zin te kwantificeren met behulp van thermografie. Daarentegen is onderzocht of infrarood-opnames van (delen van) arrays gebruikt kunnen worden om modules te herkennen die een afwijkend elektrisch gedrag vertonen van de andere

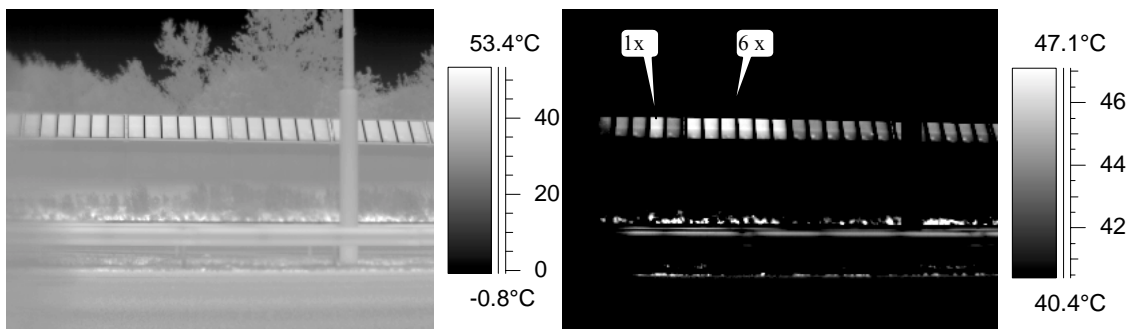
modules in datzelfde array. Voor deze toepassing is het daarom nodig om identieke modules in een zo identiek mogelijke situatie te fotograferen. Omdat de modules naast of boven elkaar gemonteerd zijn zullen er altijd verschillen in convectie optreden (door de richting van de natuurlijke "trek" en van de wind) die leiden tot geringe temperatuurverschillen. Ook zullen verschillen in de hoek waaronder de verschillende modules gefotografeerd worden leiden tot verschillen in de gemeten schijnbare temperatuur.

Praktijkvoorbeelden

Er zijn een aantal experimenten uitgevoerd waarbij (delen van) arrays gefotografeerd zijn met een ThermoCAM PM675 camera van AGEMA Infrared Systems. De opnames zijn met de bijbehorende software (IRwin OLE 1.1) vertaald naar afbeeldingen in een kleuren pallet die maatgevend is voor de waargenomen straling. De waargenomen straling is niet gecorrigeerd voor de emissiecoëfficiënt en ook niet voor reflecties vanuit de omgeving. Om deze redenen wordt hierna gesproken over de schijnbare temperatuur van de modules.

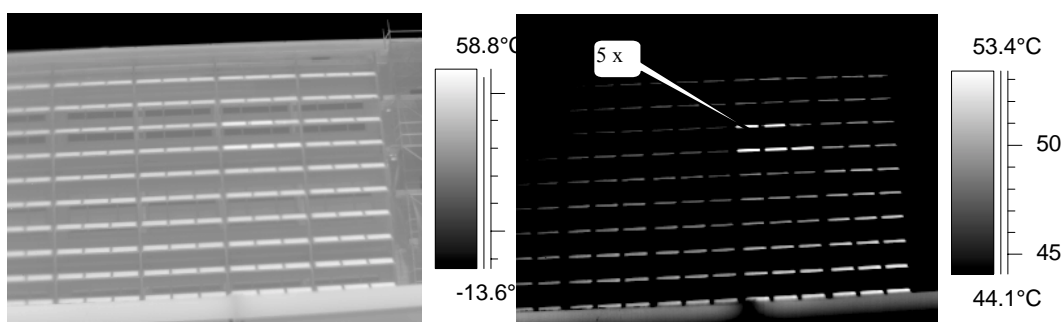
Voorbeeld 1

Hieronder is een opname weergegeven van een rij AC-modules naast een snelweg. De opname is gemaakt op een mooie zomerdag vanaf de overkant van de weg. De linkerfoto geeft het volledige bereik weer van de schijnbare temperaturen en op de rechterfoto is het bereik zodanig verkleind dat een zevental niet-functionerende modules zichtbaar wordt.



Voorbeeld 2

Hieronder staat een opname van de gevel van een gebouw waarop zonwering is aangebracht met PV-modules. Weer is links het volledige bereik weergegeven van de schijnbare temperatuur en is rechts het bereik verkleind. Op de rechterfoto zijn 5 modules zichtbaar die een afwijkende schijnbare temperatuur hebben. Toen de foto gemaakt werd waren alle PV-inverters uitgeschakeld. Door een montagefout stonden de vijf genoemde modules parallel aan strings van zes modules. Door middel van vereffeningstromen werd hierdoor elektrisch vermogen teruggevoerd in de vijf modules die daardoor extra warm werden.



Conclusies

- Thermografie is geschikt om PV-systemen op te sporen die niet goed functioneren mits de PV modules in de nabijheid van normaal werkende modules gefotografeerd kunnen worden. Daarbij is van belang dat de te vergelijken modules dezelfde (convectieve) koeling ondergaan en dat de modules onder vrijwel dezelfde hoek worden waargenomen.
- Niet alleen problemen met de PV-modules kunnen op deze wijze worden opgespoord, maar ook alle andere problemen met het PV-systeem die leiden tot substantieel verschillende modulestromen.
- De beste resultaten worden verkregen bij goed zicht op de modules en bij lage windsnelheden.
- Bij het interpreteren van de opnames moet erop gelet worden dat reflecties van de omgeving op de modules ook een bijdrage geeft tot de schijnbare temperaturen.
- Thermografie aan uitgeschakelde PV-systemen kan informatief zijn doordat er vereffeningsstromen tussen diverse strings kunnen lopen
- Bij specifieke problemen kan thermografie goed uitgevoerd worden door met een voeding elektrische energie toe te voeren aan de verdachte strings, zonder de noodzaak van zonlicht.