

Be sure. **testo**



Ghid practic Termografia pentru parcuri fotovoltaice.

Introducere.

Sistemele fotovoltaice au o contribuție importantă la tranziția energetică și la gestionarea durabilă a resurselor - în ultimii ani, subvențiile de stat au impulsat instalarea a numeroase sisteme fotovoltaice mai mici sau mai mari în numeroase țări din lume. După o etapa de expansiune, întreținerea parcurilor fotovoltaice existente devine din ce în ce mai semnificativă.

Acest ghid practic explică modul în care termografia poate ajuta în timpul punerii în funcțiune, documentării și întreținerii și oferă recomandări utile pentru utilizarea unei camere de termoviziune.



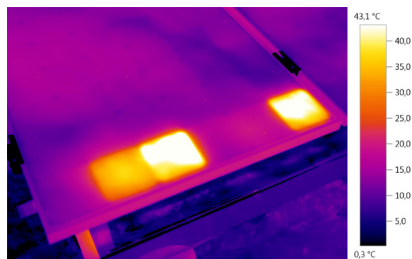
Cuprins:

Justificarea și motivele utilizării termografiei	4
Imagini cu defecțiuni și cauze	7
Sfaturi și recomandări pentru măsurare și evitarea erorilor	11
Cum arată camera de termoviziune ideală?	14
Camerele de termoviziune Testo pentru termografia panourilor solare	17
Camerele de termoviziune – instrumentele ideale pentru inspectarea instalațiilor fotovoltaice	18

Justificarea și motivele utilizării termografiei.

Detectarea calității îndoielnice de pe piață.

În anii în care utilizarea panourilor fotovoltaice a explodat, registrele de comenzi au fost pline și inginerii au putut ține cu greu pasul cu cererea. Prin urmare, comenzile nu au fost întotdeauna onorate de experți cu înaltă calificare. Un număr mare de contractanți din alte domenii, insuficient instruiți, au contribuit la acoperirea cererii. Consecințele se resimt și astăzi: erori de construcție, randamente electrice inadecvate a instalațiilor, până la riscuri pentru securitate și pericole de incendiu. Primii afectați sunt operatorii instalațiilor. Cu toate acestea, o implementare de o calitate inferioară se reflectă și asupra companiei care a executat lucrarea, putând atrage obligația de a plăti daune pe baza analizei termografice.



Neregularitățile termice indică o posibilă pierdere de randament electric.

Asigurarea calității și garanția.

Folosind termografia, se poate verifica dacă celulele modulelor fotovoltaice respectă cerințele de calitate. Combinația corectă a modulelor individuale previne așa-numitele nepotriviri, în care modulele de înaltă performanță sunt afectate negativ de module „inferioare”. Cu ajutorul unei inspecții înainte de expirarea perioadei de garanție, orice revendicări în baza garanției pot fi exprimate la timp.

Evitarea pierderilor de randament.

Un sistem fotovoltaic nou se bazează pe o analiză amplă și detaliată a randamentului și investiției. Calculele de randament se întocmesc pe o perioadă de până la 20 de ani. Cu toate acestea, calculele nu iau în considerare pierderile cauzate de instalarea defectuoasă a sistemelor. Cu ajutorul termografiei, este posibil, încă din etapa de punere în funcțiune, să se documenteze recepția lucrării și să se furnizeze o dovadă a instalării corespunzătoare, ceea ce înseamnă zero surprize neplăcute pentru clientul final și calitate garantată. Pentru a garanta randamentul pe termen lung este important să existe și alte verificări regulate, întrucât eficiența

unui sistem termic solar depinde de temperatură. Dacă anumite module se încălzesc din cauza umbrei, celulelor sau subșirurilor defecte, adică dacă consumă energie fără a genera, eficiența scade cu 0,5% pe Kelvin. O creștere medie a temperaturii de 10 °C față de temperatura medie standard înseamnă un randament cu 5% mai mic.

Recomandările reprezintă un instrument de marketing important pentru atragerea de noi clienți după executarea unei lucrări, în special în contextul situației actuale din acest sector, deoarece doar un client mulțumit va recomanda o firmă profesionistă și de încredere.

Activitate suplimentară eficientă.

După presiunea din anii de boom pentru instalarea unui sistem fotovoltaic cât mai rapid posibil, atenția s-a mutat azi pe testarea și întreținerea regulată a sistemelor fotovoltaice. Contractele de service pot reprezenta o altă sursă de venit în activitatea obișnuită post-vânzare. Cu ajutorul termografiei se pot furniza servicii post-vânzare suplimentare care asigură valoarea unei instalații fotovoltaice pe termen lung.

Protecție anti-incendiu.

Protecția împotriva incendiilor are o importanță majoră. Invertoarele și componentele electrice moderne devin din ce în ce mai puternice (înalt eficiente), generând un nivel ridicat de căldură care trebuie luat în considerare.

Componentele electrice instalate incorect sau răcite insuficient pot cauza rapid un risc de incendiu, în special dacă suportul de montaj este din material combustibil. Componentele electrice instalate în exterior se deteriorează foarte repede sub acțiunea condițiilor meteorologice și a radiației UV. Cablurile electrice corodate sau slăbite prezintă nereguli termice care apar pe o cameră de termoviziune.

Beneficiu: economie de timp.

Termografia este o metodă de măsurare vizuală, non-contact. Modulele solare cu suprafață mare pot fi scanate într-un timp foarte scurt. Neregulile termice sau diferențele de temperatură care afectează modulele devin imediat evidente și reprezintă o indicație inițială a unor eventuale defecțiuni. Dacă până acum toate șirurile de module erau măsurate individual, cu ajutorul termografiei ne putem concentra pe modulele și celulele vizibile termic pentru toate măsurătorile ulterioare (ex. cu un instrument de măsurare a curbei caracteristice).

Beneficiu: acoperirea asigurării.

Până acum, diodele bypass defecte erau foarte greu de localizat după furtuni.

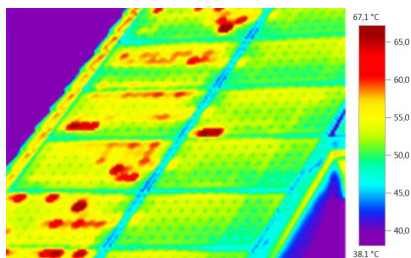
Termografia este un instrument facil și rapid pentru identificarea acestui tip de defecțiuni.

Costurile de remediere a defecțiunii sunt în general suportate de către societatea de asigurări.

de electrocutare. Din acest motiv, termografia este o metodă de inspecție foarte sigură, deoarece înregistrarea imaginilor termice se face întotdeauna la distanță față de obiectul măsurat. Prin urmare, cerințele privind distanța de siguranță sunt respectate cu ușurință.

Securitatea în inspecții.

Sistemele fotovoltaice sunt activate în timpul orelor cu lumină solară. În cazul șirurilor de module moderne, tensiunile ajung frecvent până la 1000 V, comportând un risc crescut



Module defecte după o furtună cu fulgere.

Imagini cu defecțiuni și cauze.

Căutarea punctului fierbinte.

Celulele din modulele defecte sau aflate la umbră dezvoltă o rezistență electrică internă care poate cauza un „punct fierbinte” nedorit. Celula se poate încălzi atât de mult încât nu se defectează doar ea ci și materialul carcasei (EVA) și folia de pe spate (TPT).

Diodele bypass au rolul de a împiedica acest efect. Cu toate acestea, diodele defecte sau nepotrivite (acolo unde umbra este minimă) continuă să cauzeze puncte fierbinți incontrolabile. Dacă nu se ia în considerare umbra în etapa de proiectare (ex. cauzată de instalații de înaltă tensiune sau de copaci), celulele modulelor și diodele de șuntare sunt supuse unei solicitări permanente pe tot parcursul anului.

Punctele fierbinți și consecințele lor.

Punctele fierbinți au, de regulă, două consecințe:

- randamentul electric scade, deoarece celulele sau întregul modul consumă electricitate în loc să o genereze.
- consumul nedorit de electricitate încălzește celulele și modulele. Pe lângă deteriorarea celulelor individuale și o reducere a randamentului, există și un risc real de incendiu.

Identificarea punctelor fierbinți cu ajutorul termografiei.

În general, defecțiunile sistemelor fotovoltaice cu radiație solară de aprox. 600 W/m^2 pot fi rapid diagnosticate din schimbările proprietăților termice ce apar pe camera de termoviziune. Acest tip de modificări apar, de exemplu, din cauza:

- diodelor bypass defecte
- contactelor defecte și scurtcircuitelor din celule
- penetrării umezelii și murdăriei
- fisurilor din celule sau sticla modulului
- modulelor nefuncționale sau deconectate
- așa-numitele incompatibilități, adică performanța redusă din cauza capacităților diferite ale modulelor individuale
- cablajului defect sau contactelor slăbite
- uzurii

Imagini cu defecțiuni în celule și module

Imaginea cu infraroșu arată aspectele tipice ale unei defecțiuni la celule și sub-șiruri. Prizele din imagine arată o încălzire vizibilă, ceea ce nu indică în mod obligatoriu o defecțiune. Cu toate acestea, prizele se pot supraîncălzi, fiind nevoie de verificarea evoluției temperaturii.

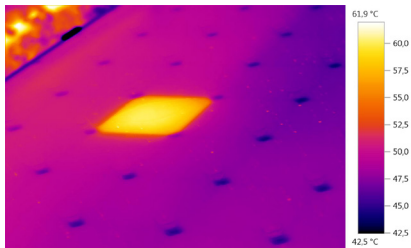
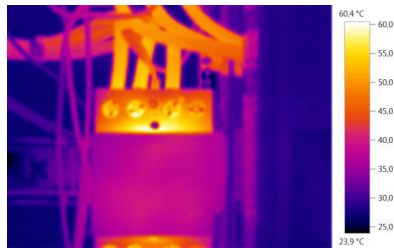
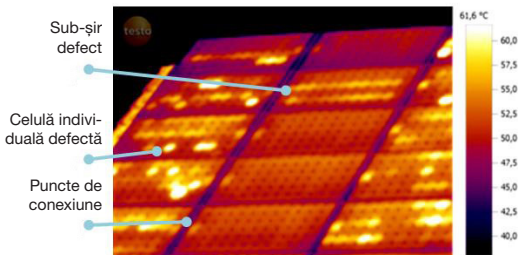
Module în circuit deschis.

Nu este neobișnuit ca modulele să funcționeze în circuit deschis. Acest lucru se poate datora modulelor conectate incorect sau cablurilor uzate sau roase, fiind evidențiat pe imaginea termică printr-o imagine infraroșu semnificativ mai caldă comparativ cu alte module.

Exfolierea.

Stratul protector din EVA se poate desprinde din cauza influențelor externe sau calității slabe. Pătrunderea umezelii poate cauza coroziunea celulelor și reducerea performanțelor. Acest lucru poate fi detectat cu ajutorul camerei de termoviziune înainte ca straturile să devină vizibil „lăptoase”.

Imagini cu defecțiuni tipice ale celulelor și modulelor.



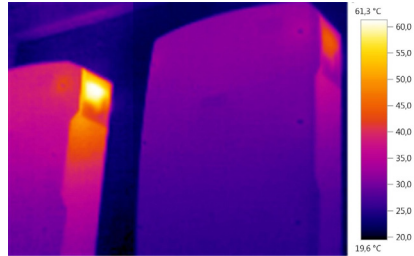
Ruperea celulelor.

Micro-fisurarea și ruperea celulelor pot apărea încă din timpul transportului și instalării. Influențele mecanice externe se pot număra, de asemenea, printre cauze. În timp ce micro-fisurile nu sunt critice, ruperea celulelor poate reduce performanța sistemului.

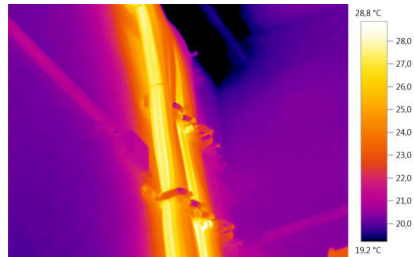
Verificarea componentelor electrice și mecanice.

Pe lângă celulele și modulele individuale, componentele electrice pot fi și ele verificate cu ajutorul termografiei. Coroziunea conductoarelor electrice și conectorilor sau cablurile slăbite pot cauza rezistențe electrice de transfer, manifestate printr-o creștere considerabilă a temperaturii. Prin urmare, se pot verifica nu doar modulele de generare ci și componentele electrice:

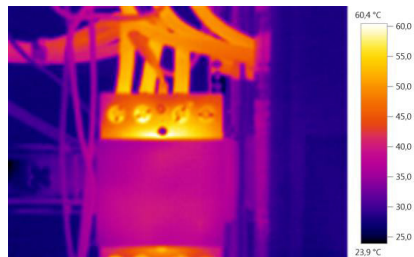
- contacte sau conectori afectați de coroziune
- invertor
- contacte slăbite
- puncte de conexiune supraîncălzite



Invertorul din stânga este semnificativ mai fierbinte.



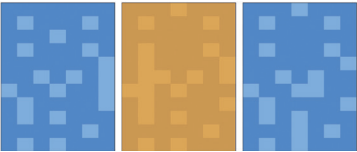
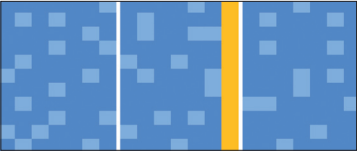
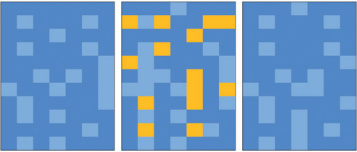
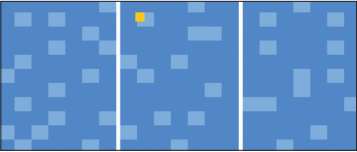
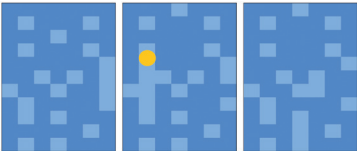
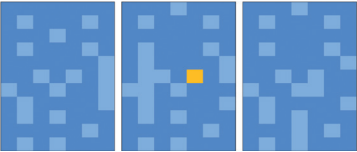
Cablu de c.c. fără încălzire semnificativă.



Încălzire semnificativă a conexiunilor electrice.

Prezentare generală a imaginilor cu defecțiuni și cauze ale acestora.

Următoarea prezentare generală enumeră imaginile tipice de defecțiuni și cauzele posibile ale acestora.

	Imagine infraroșu 1 Descriere: încălzirea constantă a modulului comparativ cu celelalte module. Defecțiuni posibile: modulul este în circuit deschis. Cauză posibilă: modulul nu este conectat, cablul este uzat sau rupt.
	Imagine infraroșu 2 Descriere: modulul prezintă încălzirea în linie a unui șir. Defecțiuni posibile: scurtcircuit într-un șir de celule. Cauză posibilă: diodă bypass defectă, de ex. după o furtună.
	Imagine infraroșu 3 Descriere: „model neregulat” în care celulele individuale semnificativ mai fierbinți sunt distribuite aleatoriu. Defecțiuni posibile: întregul modul este scurtcircuitat. Cauză posibilă: conectare incorectă sau toate diodele sunt defecte.
	Imagine infraroșu 4 Descriere: doar o parte a celulei este semnificativ mai fierbinte. Defecțiuni posibile: ruperea celulelor. Cauză posibilă: deteriorare în timpul transportului sau instalării sau alte influențe mecanice externe.
	Imagine infraroșu 5 Descriere: încălzire în anumite puncte sau încălzire neuniformă. Defecțiuni posibile: fisură într-o celulă sau artefact. Cauză posibilă: defect de fabricație cu fisurarea celulei. Umbră, de exemplu, din cauza murdăriei (excremente de la păsări, etc.).
	Imagine infraroșu 6 Descriere: încălzirea unei singure celule. Defecțiuni posibile: nu este neapărat o defecțiune. Cauză posibilă: umbră sau celulă defectă.

Ponturi și recomandări pentru măsurare și evitarea erorilor.

Precondiții meteorologice.

Testarea ar trebui să se facă în zile senine și uscate, cu radiație solară intensă (aprox. 600 W/m^2). Sub acțiunea directă a radiației solare, panourile funcționează la capacitate maximă iar celulele deteriorate apar mai calde decât celelalte celule din imaginea cu infraroșu deoarece acestea sunt supraîncărcate și nu mai funcționează. Valoarea de referință a radiației este de aprox. 600 W/m^2 . Dacă radiația solară se schimbă în timpul măsurătorii, de exemplu, din cauza norilor, imaginea cu infraroșu nu mai poate fi folosită.

Pentru a obține gradientii de temperatură cei mai înalți și astfel cel mai ușor de detectat, se recomandă efectuarea măsurătorii când temperaturile exterioare sunt scăzute (ex. dimineața sau seara).

Poate fi neneesar să se ia în considerare și efectul de răcire a panourilor din cauza vântului.

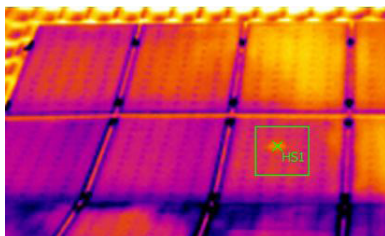
Alinierea corectă.

În timpul măsurătorii termografice, alinierea dintre camera de termoviziune și modulul fotovoltaic este esențială.

Energia radiată depinde de direcție, adică în timpul măsurării temperaturii cu

infraroșu, alinierea camerei de termoviziune cu suprafața modulelor trebuie să fie de $60 - 90^\circ \text{C}$. Modulul fotovoltaic trebuie aliniat astfel încât să fie cât mai vertical posibil față de direcția radiației solare.

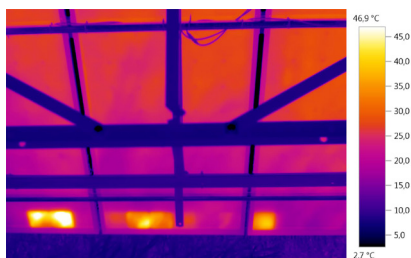
Erorile de măsurare datorate unghiului de măsurare pot cauza, de pildă diferențe de temperatură și reflexii false. Este necesar să ne asigurăm că imaginea nu este afectată de reflexii, de exemplu, ale camerei de termoviziune, tehnicianului ce efectuează măsurarea, soarelui sau clădirilor învecinate. Radiația reflectată este de asemenea detectată de camera de termoviziune. Reflexiile se pot depista prin schimbarea unghiului de vedere, deoarece acestea se deplasează odată cu schimbarea unghiului.



Reflexiile norilor sunt vizibile.



Alinierea corectă pentru măsurarea unui modul.



Înregistrarea imaginii unui modul din spate.

În cazul modulelor solare de sine stătătoare, sprijinite pe sisteme de montaj, imaginile termice pot fi înregistrate și din spate, reflexiile fiind astfel practic excluse și obținându-se un nivel al emisiilor mai ridicat. Transferul de căldură este suficient pentru a putea evalua distribuția temperaturii pe spate. În acest mod se evită măsurătorile incorecte și interpretările eronate.

Interpretarea și evaluarea.

Dacă apar deviații de temperatură în timpul evaluării termogramelor, acest lucru nu indică în mod obligatoriu o defecțiune la modulele afectate. De exemplu, imaginile termice discutabile pot indica o umbră parțială cauzată de murdărie. În aceeași manieră, o celulă deteriorată nu cauzează în mod obligatoriu o reducere a randamentului întregului panou. Doar defectarea întregilor sub-secțiuni ale panoului vor duce la pierderi majore de randament.

Așadar, este nevoie de verificări adiționale precum inspecția vizuală, măsurarea curbei caracteristice sau măsurarea prin electroluminescență pentru a localiza cauzele presupuse ale defecțiunilor.

O atenție sporită trebuie acordată interpretării temperaturilor absolute indicate pe termograme. Reflexiile cerului noros pot cauza, de exemplu, interpretări eronate - cerul senin de vară radiază până la $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Recomandăm să se lucreze cu valori ΔT și să se ia în considerare diferențele de temperatură extreme din cadrul unui panou comparativ cu panoul adiacent.

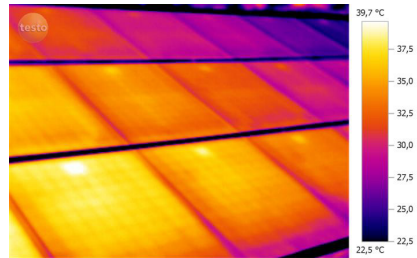
Punctele fierbinți nu indică neapărat o celulă defectă.

Nu orice punct fierbinte indică o defecțiune la o celulă fotovoltaică. De exemplu, sistemele de montaj și punctele de fixare pot fi vizibile ca urmare a transferului de căldură pe suprafața modului.

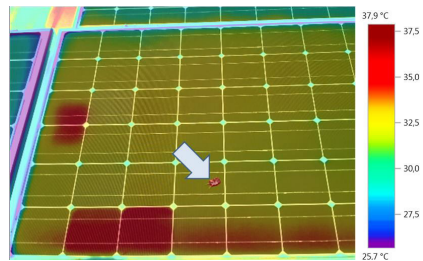
Modulele cu deviații semnificative nu sunt neapărat defecte, ci pot fi doar murdare necesitând curățare.

Nivel și anvergură.

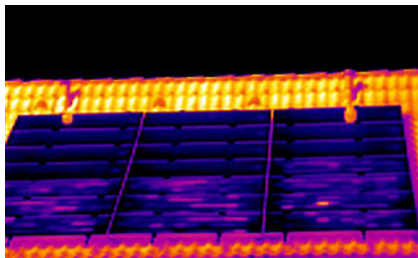
Reglarea nivelului și anvergurii este extrem de importantă pentru identificarea defecțiunilor. În modul automat, camerele de termoviziune detectează punctul cel mai fierbinte și cel mai rece și reglează intensitatea culorii în întreg domeniul. Prin urmare, suprafața mare elimină orice diferențe de temperatură relevante.



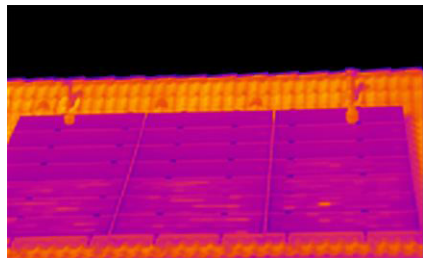
Punctele de conexiune de pe spate sunt vizibile.



Suprapunerea imaginii arată murdărie cauzată de excrementele păsărilor în punctul cel mai fierbinte.



Reglajul manual.



Reglajul automat.

Cum arată camera de termoviziune ideală?

Verificarea parcurilor fotovoltaice cu ajutorul termografiei vine cu cerințe foarte exigente privind utilizarea unei camere de termoviziune. Trebuie avute în vedere următoarele criterii pentru alegerea unei camere de termoviziune adecvate:

- rezoluția infraroșu a detectorului
- rezoluție termică (NETD).
- lentile interschimbabile
- funcțiile camerei
- software

rezoluție IR sau rezoluție geometrică.

Rezoluția geometrică (exprimată în mrad) descrie capacitatea unei camere de termoviziune de a recunoaște obiecte (ex. module defecte individuale) de la o anumită distanță. Întrucât rezoluția geometrică depinde, printre altele, de rezoluția IR a detectorului, se recomandă rezoluții IR de minim 320 x 240 pixeli (76.800 puncte de măsurare) în cazul sistemelor fotovoltaice mari și pentru măsurători de la distanță mare. Pentru verificarea sistemelor mici sau pentru măsurători efectuate de la mică distanță, sunt suficiente rezoluții IR de 160 x 120 pixeli (19.200 puncte de măsurare).

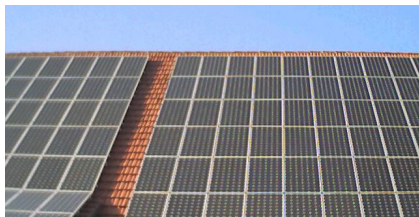
rezoluție termică (NETD).

Rezoluția termică descrie capacitatea unei camere de termoviziune de a detecta diferențele de temperatură de pe suprafața unui obiect. O rezoluție termică de 0,05 °C (sau 50 mK), de pildă, înseamnă că respectiva cameră de

termoviziune poate detecta această diferență și poate crea diferite intensități de culoare pe afișaj. Cu cât rezoluția termică este mai mică cu atât mai bună este imaginea IR generată.

Lentile interschimbabile

În plus față de rezoluția IR a detectorului, unghiul de deschidere al lentilelor afectează, de asemenea, rezoluția geometrică. Pentru a putea economisi timp când se măsoară suprafețe mari, de ex. de pe o platformă ridicată, ar trebui să se aleagă camere de termoviziune cu lentile telefoto interschimbabile. Camele de termoviziune testo 883 și testo 890 permit o schimbare rapidă a lentilelor.



O rezoluție geometrică mare facilitează inspectarea instalațiilor mari.

Afișajul rotativ.

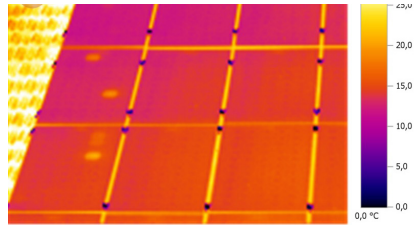
Un afișaj rotativ, precum cel al camerei de termoviziune testo 890, de pildă, vă ajută să corectați poziționarea camerei (vezi Sfaturi și Recomandări) pentru a evita erorile de măsurare. În acest mod, se pot înregistra imagini termografice din aer. Măsurătorile pe spatele modulelor sunt și ele mai ușoare. Camera de termoviziune poate fi rotită în poziția dorită fără a fi nevoie de cineva la sol.

Modul solar.

Acest mod de înregistrare este unul deosebit de util pentru termografie. În modul solar, radiația solară în W/m^2 poate fi memorată cu fiecare imagine pentru a documenta condițiile ambientale relevante.

Secvențele video.

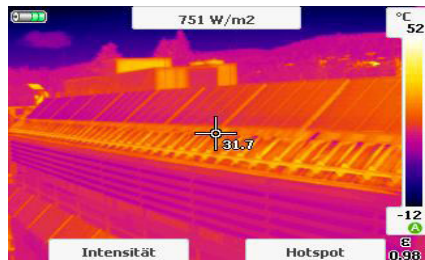
O măsurare video radiometrică completă sau funcția de jurnal permite înregistrarea de secvențe video. În acest mod, disponibil cu camera de termoviziune testo 890, un vehicul se îndepărtează de sistemul individual de sine stătător sprijinit pe un sistem de montaj în timp ce camera de termoviziune înregistrează secvențe video. Imaginile sunt apoi evaluate folosind software-ul PC pentru a economisi timp.



Imagine a unei instalații de acoperiș cu o lentilă telefoto de la distanță mare.



testo 890 cu afișaj rotativ pentru imagini de la înălțime.

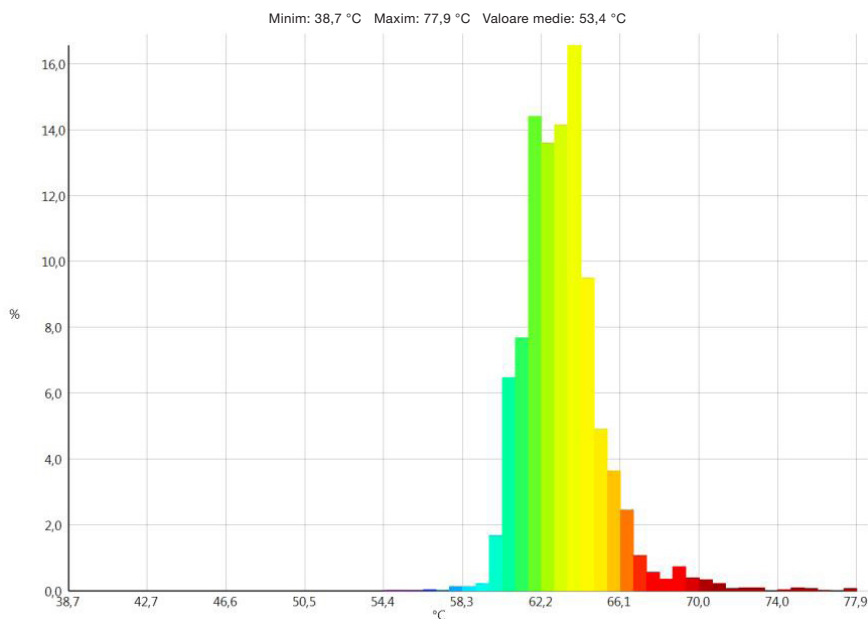


Radiația solară este, de asemenea, memorată cu fiecare imagine.

În cazul instalațiilor mari trebuie analizate doar modulele vizibile.

Software-ul.

Software-ul de analiză (ex. testo IRSOFT) permite optimizarea și analizarea imaginilor termice și facilitează o prezentare și documentare clară a imaginilor. Software-ul trebuie să fie intuitiv, clar configurat și extrem de ușor de folosit. În testo IRSOFT se pot crea rapoarte profesionale edificatoare în doar câteva minute folosind șabloanele de raport predefinite.



Histograma temperaturii unui modul solar.

Imaginea prezintă histograma temperaturii unui modul solar. De aici se pot deduce diverse aspecte. În timp ce valoarea medie pentru temperatură este de 53,4 °C, există valori maxime de până la 77,9 °C comparativ cu valoarea minimă de 38,7 °C. Frecvența exprimată ca procent permite determinarea numărului de celule care se află în domeniul de temperatură critic. Imaginea

folosită în exemplu arată că aprox. 55% dintre valorile pentru temperatură sunt mai mari de 63 °C și că valoarea medie de 53,4 °C s-a depășit deja cu 10 °C.

Camerele de termoviziune Testo pentru **termografia panourilor solare.**

Date tehnice comparative.

	testo 872s	testo 883	testo 890
Rezoluție	320 x 240	320 x 240	640 x 480
Rezoluție cu SuperResolution	640 x 480	640 x 480	1280 x 960
Sensibilitate termică.	<0,05 °C (50 mK)	<0,04 °C (40 mK)	<0,04 °C (40 mK)
Focalizare	Focalizare fixă	Automat/manual	Automat/manual
Câmp de vizualizare	42 ° x 30 °	30 ° x 23 °	42 ° x 32 °
Rata de reîmprospătare a imaginii	9 Hz	27 Hz	33 Hz
Precizie	±2 °C, ±2 % din v.m.	±2 °C, ±2 % din v.m.	±2 °C, ±2 % din v.m.
Lentile interschimbabile	Nu	Lentile telefoto (opțional)	Lentile telefoto și super-telefoto (opțional)
Mod solar	Da	Da	Da
Înregistrare secvențe și măsurare video complet radiometrică	Nu	Nu	Da

Camerele de termoviziune – instrumentele ideale pentru inspectarea **instalațiilor fotovoltaice**

Chiar și o defecțiune tehnică minoră este suficientă pentru a afecta în mod negativ randamentul instalației - și prin urmare, rentabilitatea unei instalații fotovoltaice. Există diferite cauze: neglijența în timpul instalării, degradarea stratificării sau deteriorarea lentă din cauza anilor de radiație UV și intemperii. Utilizarea unei camere de termoviziune ajută la determinarea cauzelor de eroare rapid și fiabil, precum și la eliminarea acestora.

O analiză termografică începe cu identificarea punctelor fierbinți care cauzează pierderi de randament și totodată zone de pericol. Acest aspect joacă un rol important și sub aspectul revendicărilor în baza garanției. Inspecții cu camere de termoviziune au loc și la distribuitorii electrice pentru a detecta localizarea cablajului deficitar. Cu ajutorul camerelor de termoviziune se poate evita supraîncălzirea componentelor electrice și se poate verifica funcționarea adecvată a sistemelor de răcire.

Camerele de termoviziune de la Testo sunt special concepute pentru cerințele termografiei solare. Cu ajutorul lor, inginerii pot să le ofere clienților lor un serviciu post-vânzare valoros, în timp ce operatorii instalațiilor obțin o imagine fiabilă a stării diferitelor instalații solare.

Termografia solară: domenii de aplicabilitate și beneficii

- Identificarea timpurie a defecțiunilor, evitarea pierderilor de randament
- Siguranță operațională sporită, prevenirea pericolului de incendiu
- Inspecțiile rapide și sigure
- Identificarea punctelor fierbinți, modulelor în circuit deschis, scurtcircuitelor, exfolierii, spargerii celulelor, contactelor corodate și slăbite, conexiunilor supraîncălzite
- Crearea de valoare adăugată pentru ingineri și pentru operatorii de instalații fotovoltaice

Aplicații practice - sfaturi și recomandări

- Efectuați măsurătorile în zile însorite și la temperaturi exterioare scăzute
- Poziționați camera de termoviziune corect, cu atenție sporită la reflexii
- Dacă este posibil, măsurați pe spatele panourilor
- Analizați atent cauzele deviațiilor de temperatură

Selectați camera de termoviziune potrivită

- Alegeți rezoluțiile geometrică și termică adecvate pentru aplicația dumneavoastră
- Camerele de termoviziune cu lentile interschimbabile și afișaj rotativ oferă mai multă flexibilitate
- Funcțiile utile precum modul solar, înregistrarea de secvențe video și software-ul de analiză versatil simplifică măsurătorile și analiza



